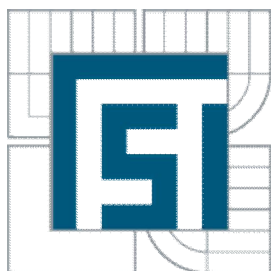


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU TEPELNÝM ČERPADLEM

HEAT PUMP HEATING FOR A HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN LOIBL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL NERUD

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Loibl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem

v anglickém jazyce:

Heat pump heating for a house

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1) Vypracovat přehled možností využívání tepelných čerpadel
- 2) Popis základních prvků tepelných čerpadel pro získávání tepla
- 3) Návrh systému s tepelným čerpadlem pro vybraný objekt
- 4) Základní bilanční výpočty tepelného systému
- 5) Ekonomické zhodnocení systému

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracovat přehled možností využívání tepelných čerpadel
- 2) Popis základních prvků tepelných čerpadel pro získávání tepla
- 3) Návrh systému s tepelným čerpadlem pro vybraný objekt
- 4) Základní bilanční výpočty tepelného systému
- 5) Ekonomické zhodnocení systému



Seznam odborné literatury:

Internet

Odborné články a časopisy

Knihovna MZK

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Nerud

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 31.10.2011

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



Abstrakt:

Teoretická část bakalářské práce se zabývá uvedením do problematiky tepelných čerpadel. Je vysvětlen princip fungování nejpoužívanějšího typu tepelného čerpadla, jeho výkonnostní ukazatel, způsoby provozních režimů a základní součásti. Dále jsou představeny způsoby využívání tepelných čerpadel z hlediska zdroje nízkopotenciálního tepla. V praktické části práce je vypočtena tepelná ztráta vybraného objektu, teplo potřebné pro vytápění a ohřev TUV. Následuje volba nejvhodnějšího typu tepelného čerpadla pro zajištění dodávky tepla pro ohřev teplé užitkové vody a na vytápění. Závěrečná část představuje ekonomické zhodnocení celého systému s TČ včetně vypočtené návratnosti investice.

Klíčová slova:

Tepelné čerpadlo, topný faktor, nízkopotenciální teplo, spotřeba energie, návratnost

Abstrakt:

The theoretical part of the bachelor thesis deals with introducing to the issue of heat pump systems. The functioning principle of the most widely used heat pump type is explained here as well as its coefficient of performance, its operational modes and fundamental components. In addition, possible ways of heat pump systems application in terms of obtaining lowpotential heat are introduced. In the practical part the calculation of thermal loss of selected family house is discussed together with the calculation of heat requirements for heating and domestic hot water. The following part focuses on the selection of the most appropriate type of heat pump systems for covering heat demands of the selected house. The final part poses economical assesment of the designed heat pump system including the calculation of investment recovery.

Key words:

Heat pump, coefficient of performance, lowpotential heat, energy consumption, investment recovery

Bibliografická citace mé práce:

LOIBL, J. Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Nerud.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, z doporučené literatury uvedené v seznamu a z odborných konzultací.

V Brně dne 22.května 2012

.....
Jan Loibl



Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Pavlu Nerudovi za ochotu, za poskytnutí užitečných rad a odborné pomoci při zpracování mé závěrečné práce.

V Brně dne 22.května 2012

.....
Jan Loibl



Obsah

1. ÚVOD	9
2. Tepelné čerpadlo	10
2.1 Tepelné čerpadlo včera a dnes	10
2.2 Princip činnosti TČ	11
2.3 Topný faktor	12
2.4 Bod bivalence	13
2.4.1 Monovalentní provoz	13
2.4.2 Alternativně bivalentní provoz	14
2.4.3 Paralelně bivalentní provoz	14
2.4.4 Částečně paralelně bivalentní provoz	15
3. Zdroje nízkopotenciálního tepla	16
3.1 Teplo ze vzduchu	16
3.1.1 Venkovní vzduch	16
3.1.2 Vnitřní vzduch	18
3.2 Teplo ze země	18
3.2.1 Plošné (horizontální) kolektory	19
3.2.2 Geotermální (vertikální) kolektory	19
3.2.3 Energetické piloty	20
3.3 Teplo z vody	21
3.3.1 Podzemní voda	21
3.3.2 Povrchová voda	22
4. Základní komponenty TČ	23
4.1 Výparník	23
4.1.1 Deskový výměník kapalina/chladivo	23
4.1.2 Lamelový výměník vzduch/chladivo	23
4.2 Kompresor	24
4.2.1 Hermetický spirálový kompresor Scroll	24
4.3 Expanzní ventil	25
4.3.1 Expanzní ventil s MOP	25
4.3.2 TEV s vnějším vyrovnáním tlaku	26
4.4 Presostat	26
4.4.1 Vysokotlaký presostat	26
4.4.2 Nízkotlaký presostat	26
4.4.3 Pump down režim	26
5. Objekt investora	27
5.1 Charakteristika objektu	27
5.2 Tepelně - technické zhodnocení objektu	28
5.3 Tepelná ztráta	29
5.3.1 Postup výpočtu tepelné ztráty objektu	29
5.4 Spotřeba elektrické energie	33
5.4.1 Vytápění za rok	33
5.4.2 Ohřev TUV za rok	35
5.4.3 Elektrické spotřebiče domácnosti	36
6. Výběr TČ	37
6.1 Nabídka TČ země - voda	37
6.2 Nabídka TČ vzduch - voda	38



7.	Ekonomické zhodnocení	39
7.1	Skladba platby za elektřinu	39
7.2	Cena elektrické energie bez provozu TČ	39
7.3	Cena elektrické energie při provozu TČ	40
7.3.1	Tepelné čerpadlo země - voda	40
7.3.2	Tepelné čerpadlo vzduch - voda	43
7.4	Návratnost investice	45
7.4.1	Prostá návratnost	45
7.4.2	Návratnost při lineárním odpisování	45
7.4.3	Návratnost při degresivním odpisování	46
8.	Závěr	48
9.	Seznam použitých zdrojů	49
10.	Seznam použitých zkratk a symbolů	51
11.	Seznam příloh	54



1. ÚVOD

Žijeme v době permanentního zdražování cen energií, což se výrazně promítá v ekonomice provozu každé domácnosti v ČR – rok od roku zvyšující se náklady pro zajištění životního standartu nutí spotřebitele k radikálním škrtům v rozpočtech a poohlížení se po ekonomičtějších způsobech zajištění pokrytí svých energetických požadavků. Jako alternativní zdroj energie se tedy tepelná čerpadla (TČ) stávají, i přes přetrvávající vyšší pořizovací náklady, velice atraktivním artiklem mající potenciál ekologicky šetrně zajistit pokrytí energetické náročnosti domácnosti spojené převážně s dodávkou tepla na vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV), a to při výrazném snížení původních celkových provozních nákladů asi na jednu třetinu.

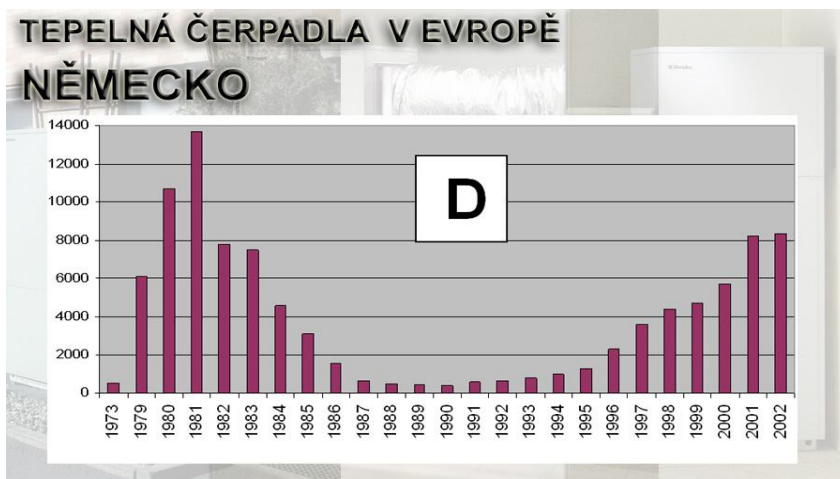
Předmětem této bakalářské práce je seznámit koncového spotřebitele a potenciálního investora s problematikou tepelných čerpadel, tedy objasnit mnohdy tajuplný a mýty opředený princip fungování, který neporušuje základní věty termodynamiky, nastínit možnosti použití různých typů tepelných čerpadel a seznámit se stěžejními prvky každého tepelného čerpadla pro získávání tepla. Hlavním cílem je pro vybraný objekt provést volbu vhodného typu TČ, výpočtově určit tepelnou ztrátu objektu a roční potřebu tepla pro vytápění a ohřev TUV. Závěrečná část představuje zhodnocení celého systému s TČ z hlediska rychlosti návratnosti v porovnání se stávajícím zdrojem tepla.

2. Tepelné čerpadlo

2.1 Tepelné čerpadlo včera a dnes

Princip TČ je znám již od dob anglického fyzika Lorda Kelvina (William Thomson) z poloviny 19. století. K praktickému nasazení TČ pro potřeby dodávky tepla pro domácnosti došlo ve světě až s vypuknutím ropné krize v 80. letech 20. století, jak je patrné z obr. 2.1. Poté následoval propad způsobený zejména častou poruchovostí, nerentabilitou a nepřípravou montážních firem.[12]

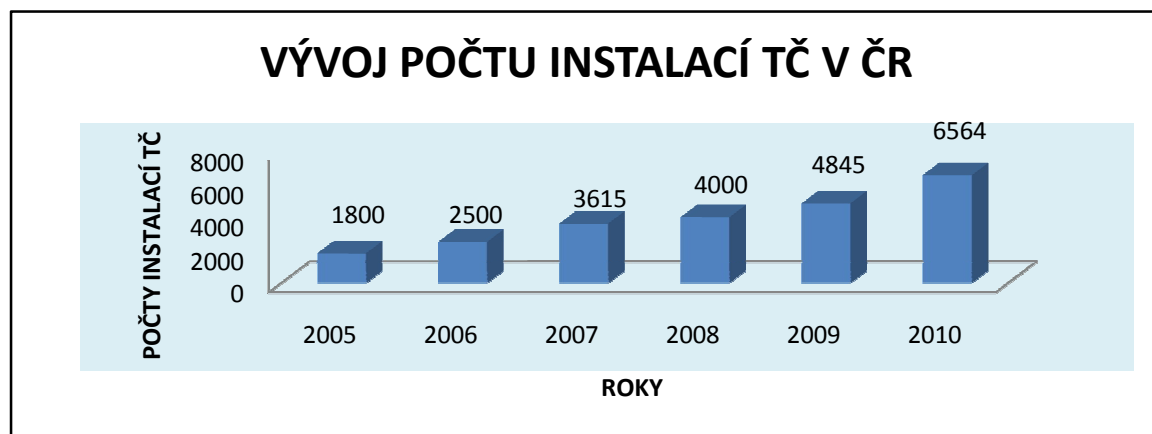
V ČR se začali TČ dostávat do širšího povědomí s cestováním do zahraničí po roce 1990. Za skutečný počátek zájmu o tepelná čerpadla je považován rok 2000, spojený zejména se začátkem působení podpůrných programů jak o např. Asociace pro využití TČ ČR. Pozvolný růst cen energií vedl k většímu zájmu o TČ. Byly zavedeny zvýhodněné sazby D 55 pro domácnosti a C 55 pro



Obr. 2.1 - Tepelná čerpadla a ropná krize [12]

právnícké subjekty. I přes demotivující změny spojené se zavedením méně výhodné sazby D 56 a obtížnějšími kritérii pro získání dotace probíhal díky pozvolnému růstu cen energií i pozvolný růst instalací TČ. [12]

Statistického šetření pro zjištění vývoje počtu instalací TČ v letech 2005 – 2010 v ČR prováděné Ministerstvem průmyslu a obchodu se poskytnutím svých údajů účastní rok od roku více a více firem. Výstupní data v jednotlivých letech [6], [7], [8], [9], [10], [11] byla použita pro sestrojení grafu na obr. 2.2.



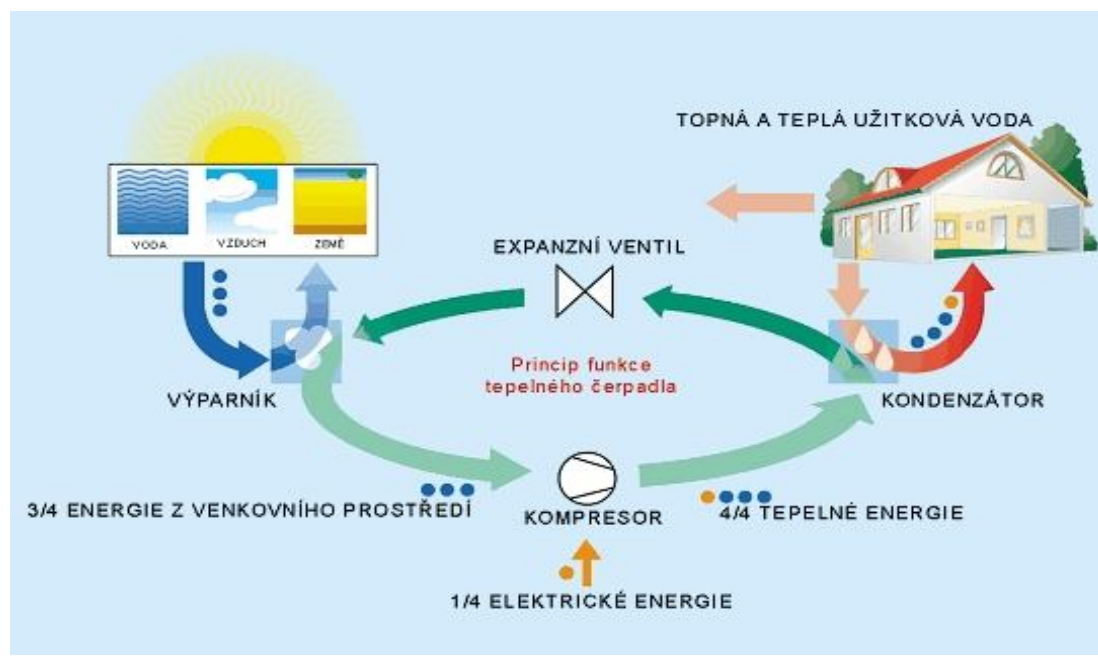
Obr. 2.2 - Graf vývoje instalací tepelných čerpadel v ČR

Přestože závěry nebylo možné zpracovat od všech dotázaných firem, podle pana Ing. Bufky, autora této studie, jsou data dostačující pro popsání reálného stavu vývoje využívání TČ v ČR, přičemž se dá očekávat, že tento stabilně rostoucí trend bude s největší pravděpodobností pokračovat vlivem růstu cen konvenčních paliv a posilujícího zájmu o nízkoenergetickou výstavbu.

2.2 Princip činnosti TČ

Ačkoliv se to může zdát mnohým z nás nepřipustné a mnohdy těžko vyvratitelné, tepelné čerpadlo nesplňuje parametry zařízení označovaného jako perpetuum mobile, a také energii nevyrábí. Naopak. TČ je technické zařízení, které umí využívat nízkopotenciální teplo (NPT) vyskytující se kolem nás v ohromném množství a přečerpávat jej na vyšší teplotní úroveň pro člověka již upotřebitelné. Bez energie potřebné k vlastnímu provozu to však nejde.

Princip fungování je znázorněn na obr. 2.3. Celý systém dodávky tepla s tepelným čerpadlem si můžeme rozdělit na dva uzavřené okruhy (okruh TČ a okruh otopného systému), ve kterých proudí teplotonosná média (chladiivo a otopná voda). V primárním okruhu se na vstupní straně TČ vždy nachází primární výměník tepla, tzv. výparník, kam je přiváděno pomocí vhodného teplotonosného média (vzduch, voda, nemrznoucí směs) NPT teplo z vnějšího prostředí. Na druhé straně výparníku je tryskou termostatického expanzního ventilu (TEV) vstříkováno pod velkým tlakem kapalně chladiivo. Protože je tlak ve výparníku za TEV nižší, kapalně chladiivo se rychle odpařuje a celý výparník je tak podchlazován na teplotu nižší



Obr. 2.3 - Schéma principu fungování tepelného čerpadla [13]

oproti teplotě prostředí, ze kterého je teplo odebráno. Jsou tak vytvořeny podmínky pro aplikaci druhé věty termodynamické pro přestup tepla z vyšší teplotní hladiny na nižší. „Studené“ NPT, pro potřeby člověka nevyužitelné, ohřívá podchlazený plyn, který je nasáván kompresorem. Nasávaný plyn obohacený o energii získanou zvětší je stlačován kompresorem, což vede k jeho silnému zahřátí. Při průchodu kompresorem se energie nesená plynem ještě navýší o část energie ve formě ztrátového tepla z elektromotoru kompresoru a tepla vzniklého třením jeho pohyblivých ploch. Stlačený plyn na výtlaku kompresoru disponuje vyšší teplotou než má voda v topném systému a je přiváděn do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru, kterým topná voda proudí. Horký plyn zde kondenzuje na chladnějších teplosměnných plochách a předává tak svoji tepelnou energii chladnější topné vodě. Vše probíhá v mezích platnosti druhé věty termodynamického zákona. Ochlazené kapalně chladiivo je nazpět odváděno do expanzního ventilu a celý cyklus běží spojitě stále dokola. [1]



2.3 Topný faktor

Tepelné čerpadlo je technické zařízení, které můžeme nazvat velice „špatným“ chladicím zařízením, stejně tak jako můžeme nazvat chladničku velice „špatným“ topícím zařízením. Obě zařízení sice pracují na stejném termodynamickém principu, avšak s odlišnými výstupními funkcemi. Zatímco u TČ je odebírané teplo využíváno v kondenzátoru jako zdroj tepla pro topný systém nebo na ohřev TUV, primární funkcí chladničky je teplo odebírat, a tedy chladit. Až sekundárně chladnička ohřívá (a to v zanedbatelné míře) vzduch v místnosti.

Pro posouzení energetické výkonnosti TČ se používá tzv. topný faktor ε (COP – z anglického Coefficient of Performance), který představuje obdobu účinnosti ostatních klasických zdrojů tepla. Jedná se o bezrozměrné číslo určující poměr celkové výstupní energie, tedy topného výkonu P tepelného čerpadla, a energie potřebné pro pohon TČ, tedy příkonu P_p . Topný výkon je dán energií získanou z NPT okolního prostředí a práce kompresoru. Topný faktor je potom dán vztahem: [1]

$$\varepsilon = \frac{P}{P_p} \quad (2-1)$$

kde

ε	...	[-]	...	topný faktor
P	...	[J]	...	topný výkon TČ
P_p	...	[J]	...	příkon TČ

Z termodynamického hlediska pracuje teoretický cyklus TČ jako obrácený (levotočivý) Carnotův cyklus (teoretický ideální cyklus). Při posuzování efektivnosti TČ poté můžeme tepelný faktor zapsat pomocí tepel a teplot následovně:

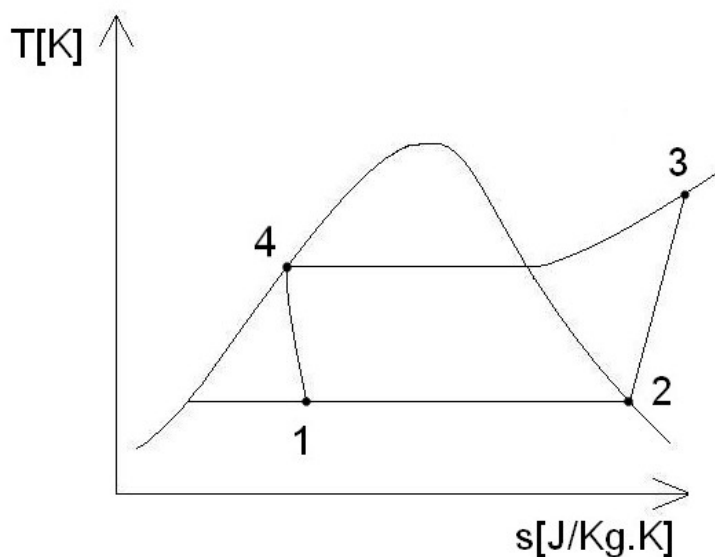
$$\varepsilon = \frac{Q_H}{A} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (2-2)$$

kde

A	...	[J]	...	termodynamická práce cyklu
T_H	...	[K]	...	absolutní teplota při izotermické kondenzaci
T_C	...	[K]	...	absolutní teplota při izotermickém vypařování
Q_H	...	[J]	...	kondenzační teplo (teplo uvolněné při kondenzaci)
Q_C	...	[J]	...	vypařovací teplo (teplo uvolněné při vypařování)

Skutečný topný faktor (COP_{sk}) bývá nižší, neboť představuje hodnotu poměru topného výkonu TČ a elektrické energie potřebné pro chod všech elektrických spotřebičů, které jsou součástí TČ (např. řídicí elektronické systémy, oběhová čerpadla, atd.) V ideálním případě může topný faktor nabývat hodnot kolem 8 i vyšších, v praxi se však pohybuje v rozmezí $\varepsilon = 1,5 - 3,5$. Obecně však platí, že topný faktor je vždy větší než 1, neboť se do vstupní energie nezahrnuje odebírané NPT. [1]

Hodnota topného faktoru kolísá a je závislá na provozních podmínkách. Z rovnice (2-2) vyplývá, že s rostoucí teplotou tepla uvolněného při kondenzaci chladiva nebo s klesající teplotou tepla uvolněného při vypařování chladiva klesá topný faktor. Efektivita provozování TČ tedy klesá. [1]

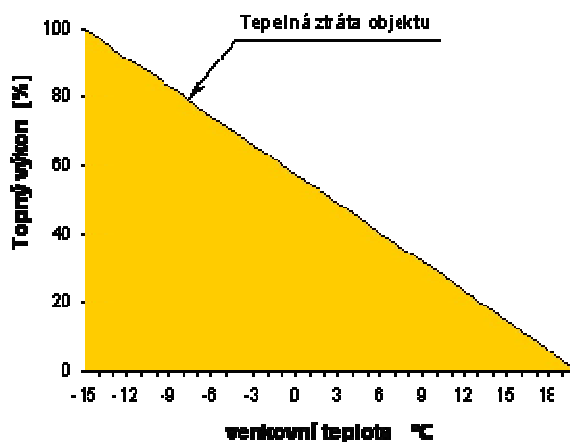


Obr. 2.4 - T-s diagram skutečného oběhu parního kompresorového tepelného čerpadla

2.4 Bod bivalence

2.4.1 Monovalentní provoz

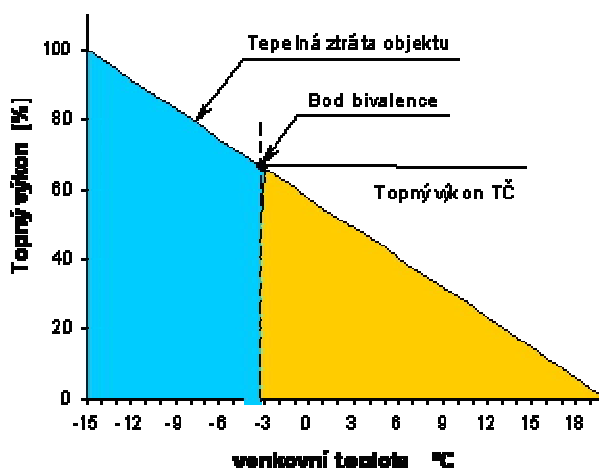
Monovalentní provoz je vhodným řešením pro nízkoteplotní vytápění s topnou vodou max. 60°C. Topný výkon TČ se dimenzuje minimálně o cca 50% vyšší, protože jako jediný zdroj tepla pokrývá při nejnižších exteriérových teplotách cca -20°C největší tepelné ztráty objektu. Vyšší výkon však vyžaduje zejména zvýšené nároky na výkon zdroje NTP, čímž pořizovací cena celého systému narůstá. Protože je v mírných klimatických podmínkách špičková potřeba tepla krátkodobá, pořízení a provoz předimenzovaného TČ se jeví jako krajně nerentabilní. TČ se proto dimenzuje na 60-70% výpočtového výkonu a obstarává dodávku tepla jen do určité exteriérové teploty cca 0-5°C, do tzv. teploty bivalence. Od této teploty spolupracuje s tzv. špičkovým zdrojem tepla (nejčastěji elektrokotel). TČ je tedy provozováno v tzv. bivalentním provozu. Závislost výkonu TČ na exteriérové teplotě při monovalentním zapojení je znázorněna na obr. 2.5. [14]



Obr. 2.5 - Monovalentní zapojení tepelného čerpadla [14]

2.4.2 Alternativně bivalentní provoz

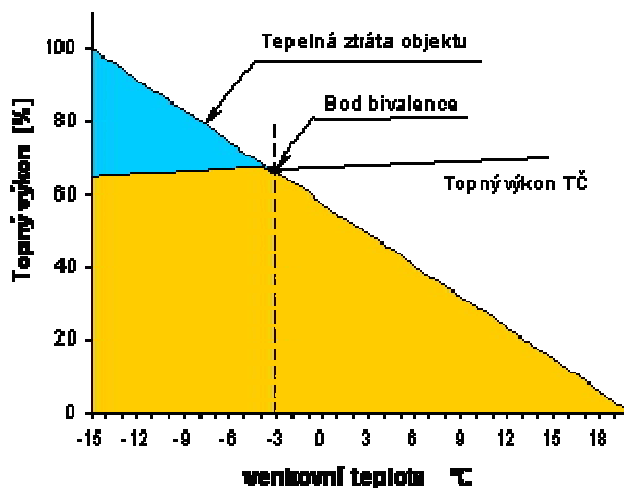
V tomto režimu je zásoba tepla TČ limitována určitou exteriérovou teplotou, při jejímž dosažení je TČ odstaveno a produkci tepla přebírá bivalentní zdroj. Tento provozní režim je vhodný pro vytápěcí systémy s teplotou topné vody do 90°C. Závislost výkonu TČ na exteriérové teplotě při alternativně bivalentním zapojení je znázorněna na obr. 2.6. [14]



Obr. 2.6 - Alternativně bivalentní zapojení tepelného čerpadla [14]

2.4.3 Paralelně bivalentní provoz

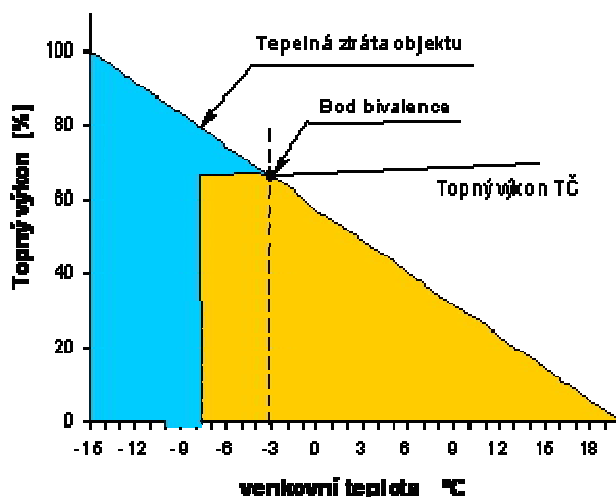
Při paralelně bivalentním zapojení připíná od určité teploty k chodu TČ doplňkový zdroj. Jelikož se TČ nadále podílí na dodávce tepla asi 90% souběžně s dalším zdrojem, jeho celoroční produkce tepla je v porovnání s alternativně bivalentním zapojením větší. Tento provoz je vhodný pro vytápěcí systémy s podlahovým nebo stěnovým vytápěním. Závislost výkonu TČ na exteriérové teplotě při paralelně bivalentním zapojení je znázorněna na obr. 2.7. [14]



Obr. 2.7 - Paralelně bivalentní zapojení tepelného čerpadla [14]

2.4.4 Částečně paralelně bivalentní provoz

Při dosažení bodu bivalence přepíná k TČ doplňkový zdroj tepla. Řídicí systém sleduje teplotu vody dodávané TČ do topného systému a v případě, že TČ již nestačí zásobovat vodou o požadované teplotě, dojde k jeho odstavení. Tento provoz je vhodný pro všechny druhy vytápěcích systémů s teplotou topné vody do 60°C. Závislost výkonu TČ na exteriérové teplotě při paralelně bivalentním zapojení je znázorněna na obr. 2.8. [14]



Obr. 2.8 - Částečně paralelně bivalentní zapojení tepelného čerpadla [14]



3. Zdroje nízkopotenciálního tepla

Myšlenka tepelných čerpadel je unikátní ve způsobu získávání tepla. Ve srovnání s klasickými zdroji tepla, tepelná čerpadla nepřeměňují chemickou energii paliva jeho oxidací, nýbrž využívají principů termodynamických zákonů a odebírají okolnímu prostředí (a tím ho dochlazují) energii o nízké teplotní hladině, pro potřeby člověka nevyužitelné, a dodáním vlastní energie NPT přečerpávají na teplotní hladinu vhodnou pro ohřev teplé užitkové vody a vytápění. Volba zdroje tepla má však zásadní vliv na konstrukci a vlastnosti TČ.

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit podle zdroje tepla do třech základních kategorií:[3]

➤ vzduch jako zdroj tepla

- venkovní
- vnitřní

➤ země jako zdroj tepla

- hlubinné vrty
- podzemní kolektory (vertikální a horizontální)
- energetické piloty

➤ voda jako zdroj tepla

- podzemní zdroje vody
- povrchové zdroje

3.1 Teplo ze vzduchu

3.1.1 Venkovní vzduch

Jedním z možných zdrojů pro získávání NPT je okolní vzduch, jak je znázorněno na obr. 3.2. Takováto TČ bývají typově označována jako tzv. vzduch – voda, přičemž první slovo představuje zdroj tepla a druhé označuje druh média, do kterého je teplo předáváno. Na trhu se můžeme setkat se dvěma základními konstrukčními provedeními, a to v podobě jednodílné konstrukce (tzv. kompakt) nebo častější dvoudílné konstrukce (tzv. split, viz. obr. 3.1). [1],[3]

U varianty split jsou venkovní a vnitřní jednotka propojeny tepelně izolovanými měděnými trubkami, ve kterých proudí chladivo. Na primární straně TČ bývá zapojen lamelový trubkový výparník s pomaloběžným ventilátorem pro zlepšení přenosu tepla, a to buď s vodorovnou, nebo svislou osou. U větších výkonů TČ bývá ventilátorů více a průtok vzduchu činí řádově tisíce m^3/h . U některých konstrukcí je kromě výparníku, ventilátoru a expanzního ventilu venku i kompresor, přičemž vnitřní jednotku tvoří jen sekundární výměník. Proto je u venkovních jednotek kladena zvýšená pozornost na plnění hygienických norem ohledně povolené hladiny hluku, která je stanovena na 50dB během dne a 40dB přes noc. Split bývá plněn chladivem až na místě po instalaci a provedené tlakové zkoušce. [1],[3]

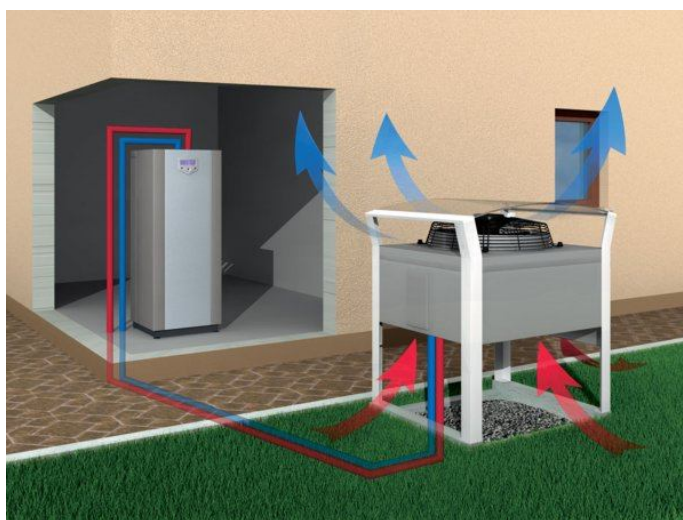


Obr. 3.1 - Tepelné čerpadlo vzduch voda (split) [15]

U varianty kompaktní jsou všechny součásti TČ v jednom celku s přednaplněným chladivem. Kompakt bývá umístěn uvnitř nebo vně vytápěného objektu. Jednodušší venkovní instalace je komplikována buď zajištěním ochrany potrubí, ve kterém proudí topná voda mezi TČ a objektem, a sekundárního výměníku proti zamrznutí při výpadku elektrické energie, anebo nutností použití nemrznoucí směsi v celém topném systému. Při vnitřní instalaci TČ je vhodným řešením jeho umístění do rohové místnosti s využitím dvou kolmých stěn, kterými je pomocí tepelně izolovaných „rukávů“ přiváděn a odváděn vzduch do venkovního prostředí. Tímto je zamezeno opětovného nasávání již jednou vyfouknutého ochlazeného vzduchu. [1],[3]

Výhody:

- snadná instalace a nižší pořizovací cena oproti ostatním typům země - voda a voda - voda
- neomezená dostupnost zdroje tepla
- ideální pro mírná klimatická podnebí, např. ČR
- nenarušuje teplotní rovnováhu okolí



Obr. 3.2 – Instalace vnitřní a venkovní jednotky [16]



Nevýhody:

- nestabilní tepelný výkon TČ závislý na proměnlivé teplotě zdrojového vzduchu, v období nízkých zimních teplot a největší potřeby tepla nutnost kompletního převzetí dodávky tepla pomocí doplňkového zdroje (nejčastěji elektrokotle)
- nepříjemnosti spojené se srážením vodní páry a stvořením námrazy na venkovním výparníku. K namrzání dochází při teplotách kolem nuly i hluboko pod nulou. Nejčastějším způsobem odtávání je přepojení TČ do reverzního chodu pomocí čtyřcestného elektromagnetického ventilu, docílením záměny funkce obou výměníků tepla. Méně časté je řešení s vhodně umístěným topným tělesem. Oba způsoby pro odtávání výparníku vedou ke ztrátám a tím i ke snížení COP_{sk}
- hluk ventilátoru venkovní jednotky TČ

3.1.2 Vnitřní vzduch

U objektů vybavených nuceným větráním nebo u technologických procesů vykazující odpadní vzduch je možné tento teplý vzduch využít tepelným čerpadlem (tzv. vzduch – vzduch). [1],[3]

U perfektně izolovaných novostaveb tvoří energie pro ohřev vzduchu na větrání až 40% celkové energie na vytápění, a proto bývá zajímavou možností teplo z odváděného vzduchu využít na ohřev teplé vody. Pro takovéto využití tepla z odváděného odpadního vzduchu se používají TČ s výkonem 1,5 až 2 kW nebo výkonnější, přičemž taková navíc odebírají teplo ze země v podobě geotermálních vertikálních sond nebo plošných kolektorů. V době útlumu potřeby tepla může tento systém ukládáním tepla z odpadního vzduchu do země udržovat celoročně její vyšší teplotu, což se projeví na lepším topném faktoru. Při nuceném větrání může být kondenzátor osazen uvnitř bojleru a využíváním tepla odpadního znehodnoceného vzduchu zajišťovat ohřev TUV. [1],[3]

Vyhováním požadavků současné doby byla vyvinuta s nástupem nízkoenergetických a pasivních domů s tepelnou ztrátou menší než 3,5kW tepelná čerpadla pro malometrážní domy, kde nejsou klasická TČ vhodná. Jejich využití se stalo velmi populárním systémem vytápění i pro letní chaty a jiné celoročně neobývané objekty, a to zejména pro zimní temperování na teplotu kolem 10°C. [1],[3]

Výhody:

- rychlá a jednoduchá instalace, bez velkých stavebních zásahů
- zvýšení teploty primárního okruhu TČ a tedy i COP
- využití tepla z odpadního vzduchu u rekuperačních systémů

3.2 Teplo ze země

Unikátnost tepelných čerpadel země – voda je skryta v myšlence odebírání a využívání naakumulované energie slunečního záření v zemském povrchu během roku a v získávání hlubinného tepla, které se uvolňuje při atomárním rozpadu prvků v zemském jádru, a které se

šíří směrem k povrchu. Tepelná čerpadla pracující se systémem uzavřeného primárního okruhu naplněného nejčastěji nemrznoucí směsí nevykazují problémy spjaté se zanášením filtrů ani výměníků a nižší topný faktor způsobený nižší teplotou zdroje je kompenzován nižšími požadavky na výkon oběhového čerpadla díky uzavřenému systému. Tato TČ jsou většinou provozována v bivalentním režimu, jejich provoz je označován jako stabilní vzhledem ke klimatickým podmínkám a dosahují úspor až 70% provozních nákladů. [1],[3]

3.2.1 Plošné (horizontální) kolektory

Tyto kolektory se skládají z okruhů polyethylenových (PE) rozvinutých nebo svinutých (slinky) hadic uložených v nezámrzné hloubce zeminy 1,2–1,5m. Nejdůležitějším aspektem při dimenzování je plošná výměra zemního kolektoru, neboť dosažitelný výkon je udáván $8-32\text{W/m}^2$ a množství tepla v zemi je limitováno „dobíjením“ přes léto. Proto se funkční plocha kolektoru doporučuje 3-4x větší než vytápěná plocha. [1],[3]



Obr. 3.3 - Teplo ze země - plošné kolektory [17]

Výhody:

- obnovitelný zdroj tepla (sluneční záření)
- pořizovací náklady v porovnání s vertikálními kolektory

Nevýhody:

- rozsáhlé zemní výkopové práce
- vysoké požadavky na velikost pozemku
- vliv na vegetaci

3.2.2 Geotermální (vertikální) kolektory

Způsob získávání geotermální nízkopotenciální energie pomocí vrtů se stal mezi investory i přes vysoké pořizovací náklady nejpobulárnější, a to zejména díky absolutní nezávislosti na vlivu počasí. [1],[3]

U vrtů se díky konstantním teplotám zdroje tepla 8-12°C s výhodou využívá jejich teplotní regenerace chlazením objektu v létě. Za ideálních podmínek se hloubky vrtů pohybují kolem 70-140m. Nepříznivé geologické podmínky vedou k možnosti instalace většího počtu vrtů při menších hloubkách. Při nepřekročení hloubky 50m se doporučuje zvýšit celkovou délku vrtů min o 10%. Větší počty vrtů je možné spojovat do smyček o 2 vrtech, přičemž je nutné spojovací potrubí osadit odvzdušovacími ventily. [1],[3]



Obr. 3.4 - Teplo ze země - geotermální kolektor [19]

Výhody:

- úspora prostoru
- stabilní zdroj tepla nezávislý na počasí
- možnost monovalentního provozu
- průměrný $COP_{sk} > 3$

Nevýhody:

- pořizovací náklady
- zdoluhavý a komplikovaný proces realizace (povolení Báňského úřadu; povolení ze zákona nakládání s vodami; stavební povolení)

3.2.3 Energetické piloty

Systém TČ s piloty jak je znázorněn na obr. 3.5, představuje velice atraktivní možnost maximálního využití stavebních základů budov. U novostaveb vyžadujících masivnější základy z důvodu nezpevněného podloží (např. při kombinaci silně zvodněného a štěrkového podloží) slouží k zajištění statické stability budovy tzv. piloty. Energeticky se dají piloty využívat pro odebírání a uskladňování tepla. Základy budov ovšem disponují s omezenou tepelnou kapacitou, a proto je nutné provozovat systém TČ s piloty v režimu vytápění/chlazení. V letním období do pilot chladíme, v zimním období z nich topíme. [3]

Konstrukce energetické piloty spočívá v ocelové armatuře vyplněné betonem, na které je navinuto potrubí z vysokohustotního polyetylénu se zvýšenou odolností. V potrubí proudí nemrznoucí směs. Ve srovnání se zemními kolektory nesmí teplota primárního okruhu systému s piloty dlouhodobě na konci topného období dosahovat záporných teplot, aby nedocházelo k promrzání základů. [3]



Obr. 3.5 - Teplo ze země - energetické piloty [19]

Výhody:

- maximální využití základů budovy
- možnost pokrytí celé energetické náročnosti budovy
- ekonomicky zajímavá investice – 2-3 tis.Kč/kW výkonu na vystrojení a svedení pilot k TČ

Nevýhody:

- riziko promrzání základů
- systém TČ s piloty pouze jako součást projektu novostavby

3.3 Teplo z vody

3.3.1 Podzemní voda

Čerpání tepla z podzemní vody na jednu stranu přináší s ohledem na stabilní teploty zdroje 7-12°C největší a trvalý COP v rozmezí během roku, na druhou stranu vyžaduje nemalé nároky na dostatek, kvalitu a hloubku podzemní vody jako zdroje tepla. [1],[3]

Základním požadavkem pro tento systém TČ voda-voda je dostatečné množství spodní vody a zhotovení dvou studen ve vzdálenosti 8-10m, přičemž jedna funguje jako zdrojová studna a druhá jako tzv. vsakovací studna. Uvádí se přibližně 180 l/h na 1kW/h výkonu TČ. Pro ověření této podmínky se provádí čerpací a vsakovací zkouška, kdy je nepřetržitě čerpána voda po dobu jednoho měsíce z jedné studny do druhé. Velice důležité pro bezproblémové fungování TČ jsou také výsledky chemické analýzy vody, kdy se ověřují vhodné parametry zastoupení jak minerálních složek, tak i mechanických nečistot v podobě písků a kalů. Při navrhování vhodné hloubky je nutno dobře uvážit, jestli energie vynaložená na pohon oběhových čerpadel a dalšího příslušenství výrazně nesnižuje hodnotu COP a systém se tak nestává nerentabilním. Pro potřeby rodinných domů je doporučována max. hloubka 25m. V případě nevhodného složení kvality vody je nutná instalace předřazeného

výměníku s dalším oběhovým čerpadlem, což vede ke snížení COP. Pro minimalizaci tohoto jevu se výměník dimenzuje na teplotní spád 2°C a max. tlakové ztráty 25kPa. [1],[3]



Obr. 3.6 - Teplo z vody - podzemní voda [20]

Výhody:

- stabilní zdroj tepla a celoročně vysoký COP 4 až 5
- možnost monovalentního provozu

Nevýhody:

- dostatečná zásoba podzemní vody
- kvalita a hloubka vody
- vysoké realizační náklady
- zdoluhavý a komplikovaný proces realizace (povolení Báňského úřadu; povolení ze zákona nakládání s vodami; stavební povolení)

3.3.2 Povrchová voda

Tento způsob odebrání NPT tepla z povrchových vod potoků, řek a rybníků se u nás takřka nevyužívá, neboť je komplikován povolením majitele, ekologů a vodohospodářů. Navíc nepřímým odběrem tepla ze stojatých vod při malých hloubkách vody dochází k zamrznutí kolektorů a výměníků. Nepřímý odběr tepla z tekoucích vod bývá častější a spočívá v pokládce kolektorů na dno toku. [1],[3]



4. Základní komponenty TČ

4.1 Výparník

Výměníky tepla jsou konstrukční prvky, ve kterých dochází podle druhé věty termodynamického zákona k přenosu tepla z teplejšího média na studenější bez jejich fyzického kontaktu. Součástí tepelného čerpadla jsou dva výměníky označovány podle fyzikálního principu změny skupenství buď jako výparník nebo kondenzátor. Výparník představuje vstupní bránu pro teplotonosné medium (vzduch, nemrznoucí směs) nesoucí NPT z venkovního prostředí, které je přijato podchlazeným chladivem v plynném skupenství na druhé straně výparníku. [1]

4.1.1 Deskový výměník kapalina/chladivo

Deskový výměník představuje nejčastěji používaný výměník tepla na vstupní straně tepelných čerpadel typu země – voda. Skládá se většinou z nerezových desek se speciálně tvarovanými prolisy, které při přiložení na sebe tvoří dvě skupiny kanálků, kde proudí odděleně od sebe teplotonosná média. V případě nerozebíratelných výměníků jsou k sobě desky připájeny, takže vykazuje výměník velkou kompaktnost a snášenlivost vysokých provozních tlaků až 3,2MPa. Vývody z výměníků bývají upraveny jak pro přišroubování, tak i pro připájení potrubí. Rozebíratelné deskové výměníky se pro TČ nepoužívají. Výměníky s počtem desek nad 30 mají mít rozdělovač (distributor) pro rovnoměrné rozdělení chladiva mezi všechny desky. [1]

Výhody:

- velká účinnost a přenášený výkon při malých rozměrech
- kompaktnost, snadná instalace
- vysoké provozní tlaky
- chemicky odolné a snadno tepelně izolovatelné

Nevýhody:

- vyšší tlakové ztráty
- náchylnost k zanesení nečistotami

4.1.2 Lamelový výměník vzduch/chladivo

Lamelový výměník se skládá z jedné nebo častěji z více řad měděných trubek, které jsou opatřeny obvykle hliníkovými lamelami pro zvětšení jejich teplosměnného povrchu, a tak zvýšení intenzity přenosu tepla. Trubkový okruh může být jeden, ale větší výměníky mají obvykle více sekcí spojených paralelně. [1]

V případě použití lamelových výměníků jako výparníků v tepelných čerpadlech vzduch – voda s větším počtem sekcí, musí být na jejich vstupu vedoucím od TEV instalován rozdělovač vstřikovaného paliva. Na druhé straně výparníku jsou sekce obvykle spojeny do větší trupy. Rozdělovač zajišťuje rovnoměrné rozdělení chladiva z TEV. Výměníky ve funkci kondenzátoru nepotřebují rozdělovače chladiva. [1]

4.2 Kompressor

Kompressor představuje srdce kompresorového parního TČ, neboť zajišťuje klíčovou funkci stlačování par chladiva, a tím přečerpávání NTP tepla na vyšší teplotní hladinu. Teploty nasávaných par bývají v rozmezí -20 až $+10$ °C, výtlačné teploty se pohybují v mezích $60 - 100$ °C. Kompressor bývá hermeticky uzavřen v ocelové nádobě. Tlaky v sacím potrubí $0,1 - 0,5$ MPa a výtlačném potrubí $0,5 - 2,5$ MPa jsou závislé na typu použitého chladiva a na nastavených pracovních podmínkách. Poměr výtlačného a sacího tlaku se nazývá kompresní poměr. [1]

- vztah pro kompresní poměr:

$$\sigma_c = \frac{p_v}{p_s} \quad (4-1)$$

kde

σ_c	...	[-]	...	kompresní poměr
p_v	...	[Pa]	...	výtlačný tlak
p_s	...	[Pa]	...	sací tlak

Důležitým parametrem kompresorů bez ohledu na typ je tzv. sací výkon, který udává objem nasávaných par vztažený k tlaku v sacím potrubí. [1]

- vztah pro sací výkon:

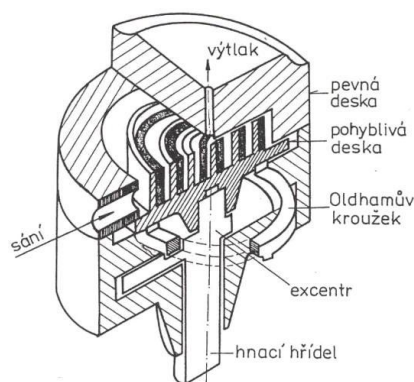
$$P_s = \frac{V_p}{p_s} \quad (4-2)$$

kde

P_s	...	$[m^3 \cdot Pa^{-1}]$	...	sací výkon
V_p	...	$[m^3]$	...	objem nasávaných par

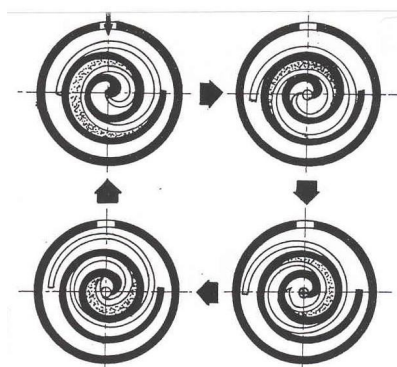
4.2.1 Hermetický spirálový kompressor Scroll

V dnešní době kompresory Scroll plně nahradily pístové kompresory a představují tak nejpoužívanější agregáty pro pohon tepelných čerpadel. Jejich dlouhá životnost garantovaná výrobcem na cca 20 – 25 let je však vykoupena vysokými pořizovacími náklady. Kompresory jsou poháněny elektromotory. [1],[3]



Obr. 4.1 - Řez válcem kompresoru Scroll [21]

Kompresor se skládá ze dvou kovových spirál, které jsou vloženy do sebe. Jedna (horní) je pevná a má uprostřed otvor, spojený s výtlačnou trubicou. Druhý, dolní spirálový díl, se neotáčí, ale krouží v horním pomocí excentru, který je na hřídeli motoru. Tím se mezi spirálami v místech s odlišným zakřivením vytvářejí plynové kapsy, které se neustále posouvají ke středu spirál a zmenšují svůj objem. Jejich cesta končí u středního otvoru horní spirály. [1],[3]



Obr. 4.2 - Princip fungování kompresoru Scroll [21]

Výhody:

- vyšší objemová účinnost téměř 100%
- vysoký chladicí faktor 3,37 u pístových nedosažitelný
- nižší vibrace = tišší chod
- jednodušší konstrukce, bez ventilů
- odolnost proti nasání kapalného chladiva

Nevýhody:

- vyšší pořizovací cena
- snižování životnosti při častějším zapínání než 6x za h

4.3 Expanzní ventil

Expanzní ventil je přesněji označován jako termostatický expanzní ventil (TEV), jehož úkolem je dávkování přesného množství kapalného chladiva do výparníku tak, aby byl zajištěn jeho optimální provozní režim. Hlavní část klasického TEV představuje tryska a teplotní čidlo, tzv. tykavka. Otvírání a zavírání trysky je zajištěno membránou, na kterou působí tlakem plyn z tykavky, a pružinou regulačního šroubu. Tykavka je naplněna vhodným médiem, u kterého se s teplotou zvyšuje tlak. Pod membránou roste tlak s vypařovací teplotou. Stupeň přehřátí chladiva odpovídá rozdílu tlaků nad a pod membránou a vytváří sílu, která působením proti síle pružiny otvírá a zavírá trysku. [1]

4.3.1 Expanzní ventil s MOP

Ventily s MOP (Maximum Operating Pressure) pracují jako omezovače tlaku a používají se pro případy, kdy by mohlo dojít ke zvýšení vypařovacího tlaku a přetížení elektromotoru. Také by mohl narůst kondenzační tlak nad přípustnou mez, kterou by vysokotlaký přesovat vyhodnotil jako poruchu a odstavil TČ. MOP je tedy hodnota



vypařovacího tlaku, při které TEV uzavírá vstřikování kapalného chladiva do výparníku a zabráňuje tak nárůstu vypařovacího tlaku nad přípustnou mez. [1]

4.3.2 TEV s vnějším vyrovnáním tlaku

TEV s vnějším vyrovnáním tlaku se používá v případech, kdy je tlaková ztráta výparníku vysoká například u TČ vzduch – voda s rozdělovačem chladiva. Místo snímání tlaku je pak oproti obyčejnému TEV na výstupu výparníku. Informace je přiváděna do TEV kapilárou způsobem, kdy je ventil na boku opatřen vývodem pro připojení kapiláry tykavky, jejíž druhý konec je připojen k trubce za výparníkem. Takto je eliminován vliv poměrně velké tlakové ztráty výparníku. [1]

4.4 Presostat

Presostaty zastávají úlohu tlakových spínačů a slouží buď jako ochranné prvky pro případ překročení dovolených provozních tlaků, anebo jako řídicí prvky chodu kompresoru v chladicí a tepelné technice. Podle použití je rozlišujeme na sací a výtlačné, které se vzájemně v podstatě liší jen možným rozsahem nastavení vypínacích tlaků. Presostaty většinou mívají nastavitelný rozdíl mezi tlakem pro vypnutí a zapnutí, což se označuje jako hystereze. [1]

4.4.1 Vysokotlaký presostat

K aktivaci vysokotlakého presostatu dochází v případě poruchy oběhového čerpadla a následného přerušení odvádění tepla z kondenzátoru. S narůstající teplotou v kondenzátoru roste i kondenzační tlak. [1]

4.4.2 Nízkotlaký presostat

Na primární straně TČ může dojít k poklesu sacího tlaku vinou nízké teploty vstupního media. Také omezením nebo úplným přerušením oběhu primární vody u TČ voda – voda dochází k výraznému poklesu teploty výparníku a zároveň tlaku. V extrémním případě může dojít k úniku chladiva ze systému a poklesu tlaku po odpaření kapalné fáze. V takovýchto poruchových stavech nízkotlaký presostat vypíná chod kompresoru. [1]

4.4.3 Pump down režim

Tento odsávací režim se používá pro odsávání kapalného chladiva z výparníku před vypnutím kompresoru. Elektromagnetický ventil nejprve uzavře vstup dalšího kapalného chladiva do TEV a stálý chod kompresoru odsaje zbytek chladiva z výparníku. Tlak stále klesá a nakonec nízkotlaký presostat nastavený na nižší tlak pro režim pump down odstaví kompresor. [1]



5. Objekt investora

5.1 Charakteristika objektu

Řešený objekt se nachází v Moravském Krumlově v městské části Rakšice. Jedná se o rodinný dům (bungalov) postavený ze stavebního materiálu Ytong s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Objekt je nezateplen. O zásobu tepla pro ohřev TUV a pro vytápění se stará 12kW elektrický kotel s třemi pracovními sekcemi po 4kW. Součástí otopné soustavy je expanzomat, bojler o objemu 150l a radiátory Korado s nízkoteplotním spádem 50/40°C vhodným pro připojení TČ. Pro oblast Znojemska byly z normy ČSN EN 12831 [4] zjištěny tyto klimatické údaje uvažované ve výpočtové části:

lokality	...	Znojmo	
výška nad mořem	...	289	[m]
výpočtová venkovní teplota	...	$t_e = -12$	[°C]
průměrná roční venkovní teplota	...	$t_{m,e} = 3,6$	[°C]
počet dnů otopného období	...	$d = 217$	

Rodinný dům se skládá z 9 vytápěných místností, přičemž jsou všechny až na koupelnu vytápěny na stejnou pokojovou teplotu.

Tab. 5.1 - Charakteristika vybraného objektu

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O VYTÁPĚNÝCH MÍSTNOSTECH				
OZNAČENÍ MÍSTNOSTÍ		výpočtová vnitřní teplota	vnitřní podlahová výměra	vnitřní objem místnosti
		t_{int}	A	V
číslo	místnost	[°C]	[m ²]	[m ³]
1+2	Hobby místnost	20	27,50	59,95
3+4	Chodba	20	5,50	14,74
5	Pracovna	20	6,80	18,22
6	Dětský pokoj	20	14,30	38,32
7	Ložnice	20	15,40	41,27
8	Kuchyň	20	5,61	15,04
9+10	Koupelna	24	7,14	19,14
11	WC	20	1,33	3,56
12	Obývací pokoj	20	26,59	71,25
celkem			110,17	281,51



5.2 Tepelně - technické zhodnocení objektu

Při návrhu TČ je pro jeho správné dimenzování stěžejním údajem požadavek na jeho tepelný výkon. Aby nedošlo ke zbytečnému předdimenzování, tedy ke zbytečnému navýšení pořizovacích nákladů, musí se co možná nejpřesněji stanovit energetická náročnost objektu. V takovém případě je nezbytné v první řadě určit tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí uvažovaných při určování tepelné ztráty (výkonu) objektu.

Podle normy ČSN EN ISO 6946 [5] byly v základních případech stanoveny tepelné odpory R jednotlivých stavebních konstrukcí a jejich součinitel průstupu tepla U . Byly použity tyto výpočtové vztahy:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (5-1)$$

kde

R_T	...	$[m^2K/W]$	...	odpor při průstupu tepla rovinné stavební konstrukce
R_{si}	...	$[m^2K/W]$	...	vnitřní odpor při přestupu tepla
R	...	$[m^2K/W]$	...	návrhový tepelný odpor konstrukce
R_{se}	...	$[m^2K/W]$	...	vnější odpor při přestupu tepla

$$U_k = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{si}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{se}}} \quad (5-2)$$

kde

U_k	...	$[W/m^2K]$	...	součinitel průstupu tepla stavební konstrukce
α_{si}	...	$[W/m^2K]$	...	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny
α_{se}	...	$[W/m^2K]$	...	součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny
λ	...	$[W/mK]$	...	součinitel tepelné vodivosti materiálu
δ	...	$[m]$	...	tloušťka vrstvy konstrukce

Uvažované hodnoty vnitřního a vnějšího odporu při přestupu tepla pro konstrukci obvodového zdiva, kdy se směr tepelného toku může měnit:

Tab. 5.2 - Odpory přestupu tepla

OBVODOVÉ ZDIVO		
$R_{se} [m^2K/W]$	0,04	vodorovný tepelný tok
$R_{si} [m^2K/W]$	0,13	

Uvažované hodnoty vnitřního a vnějšího odporu při přestupu tepla pro stropní konstrukci:

Tab. 5.3 - Odpory přestupu tepla

STROP		
$R_{si} [m^2K/W]$	0,1	vodorovný tepelný tok
$R_{se} [m^2K/W]$	0,055	

Tab. 5.4 - Přehled tepelně-technické charakteristiky stavebních konstrukcí

DRUH STAVEBNÍ KONSTRUKCE	$R_T [m^2K/W]$	$U [W/m^2K]$
obvodové zdivo	3,915	0,255



strop	5,271	0,195
podlaha	1,15	0,869

Podrobnější přehled určení tepelně-technické charakteristiky stavebních konstrukcí viz. příloha P1.

5.3 Tepelná ztráta

Tepelná ztráta budovy byla výpočtově provedena podle normy ČSN EN 12831[4] ve spolupráci s [2], a to podle metody postupného určení tepelné ztráty každé místnosti prostupem tepla a ztrátou tepla způsobené přirozeným větráním. Vzhledem k uvažovanému provozu tepelného čerpadla bez teplotních útlumů nebyl do návrhové tepelné ztráty zahrnut zátopový výkon.

- 1) Byla stanovena vnitřní výpočtová teplota místností a byly zjištěny tepelně-technické parametry všech stavebních konstrukcí uvažovaných při výpočtu tepelné ztráty objektu (viz. Kap. 5.2.)
- 2) Byl proveden výpočet tepelné ztráty objektu metodou výpočtu tepelné ztráty každé místnosti.

5.3.1 Postup výpočtu tepelné ztráty objektu

Celková tepelná ztráta jedné místnosti je dána vztahem:

$$Q_{c,i} = Q_{p,i} + Q_{v,i} \quad (5-3)$$

kde

$Q_{c,i}$	...	[W]	...	celková tepelná ztráta místnosti
$Q_{p,i}$	...	[W]	...	tepelná ztráta prostupem tepla místnosti
$Q_{v,i}$	...	[W]	...	tepelná ztráta větráním místnosti

Tepelná ztráta prostupem tepla jedné místnosti (i) je dána vztahem:

$$Q_{p,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (t_{int,i} - t_e) \quad (5-4)$$

kde

$H_{T,ie}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí
$H_{T,iue}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem
$H_{T,ig}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru
$H_{T,ij}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na jinou teplotu
$t_{int,i}$	...	[°C]	...	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru
t_e	...	[°C]	...	venkovní výpočtová teplota

$$H_{T,ie} = \sum (A_k \cdot U_{kc}) \quad (5-5)$$



kde

A_k ... [m^2] ... plocha stavební části
 U_{kc} ... [W/m^2K] ... korekce součinitele prostupu tepla pro tepelné mosty

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot b_g \cdot \sum(A_k \cdot U_{ekv}) \cdot G_w \quad (5-6)$$

kde

f_{g1} ... [-] ... korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty
 G_w ... [-] ... korekční činitel zohledňující vliv spodní vody
 U_{ekv} ... [W/m^2K] ... ekvivalentní součinitel prostupu tepla
 b_g ... [-] ... činitel teplotní redukce pro venkovní výpočtovou a průměrnou teplotní hodnotou

kde

$$b_g = \frac{t_{int,i} - t_{m,e}}{t_{int,i} - t_e} \quad (5-7)$$

$$H_{T,ij} = \sum(A_k \cdot U_k \cdot b_{ij}) \quad (5-8)$$

kde

$$b_{ij} = \frac{t_{int,i} - t_j}{t_{int,i} - t_e} \quad (5-9)$$

kde

t_j ... [$^{\circ}C$] ... teplota vytápěného sousedního prostoru
 b_{ij} ... [-] ... redukční teplotní činitel pro teplotu sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty

Tab. 5.5 - Příklad tepelné ztráty mezi vytápěnými místnostmi na jiné teploty

Koupelna 9+10					
Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty					
Stavební konstrukce					
Č.k.	Popis	A_k	U_k	b_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot b_{ij}$
STR6	Stěna ke kuchyni	7,78	0,87	-0,025	-0,17
STR6	Stěna k chodbě	4,89	1,15	-0,025	-0,14
STR6	Stěna k WC	10,29	1,15	-0,025	-0,30
Celková tepelná ztráta z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty [W]					-19,37

Při stanovení celkové tepelné ztráty nebyl zahrnut součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem, $H_{T,iue}$, neboť v objektu jsou všechny místnosti vytápěné.

Tepelná ztráta větráním jedné místnosti (i) je dána vztahy:

$$Q_{v,i} = H_{v,i} \cdot (t_{int,i} - t_e) \quad (5-10)$$

kde



$H_{v,i}$... [W/K] ... součinitel tepelné ztráty větráním

$$H_{v,i} = 0,34 \cdot V_{min,i} \quad (5-11)$$

kde

$V_{min,i}$... [m^3] ... hygienické množství vzduchu

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (5-12)$$

kde

n_{min} ... [h^{-1}] ... minimální intenzita výměny venkovního vzduchu

V_i ... [m^3] ... objem vytápěné místnosti

Následuje příklad výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla a větráním místnosti č. 6 – dětský pokoj.

Tab. 5.6 - Celková tepelná ztráta místnosti č.6

Dětský pokoj 6							
Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO6	Venkovní stěna	19,67	0,255	0,15	0,405	1	7,97
OZ6	Okno zdvojené	2,82	1,8	0,4	2,2	1	6,21
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							453,52
Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR6	Strop k půdě	17,44	0,195	0,02	0,215	0,9	3,37
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							107,99
Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz6	Podlaha přilehlá k zemině	17,44	0,38	1,45	0,46	1,00	4,42
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							141,45
Tepelná ztráta větráním							
číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$ [W]	
6	Dětský pokoj	32	38,32	0,5	19,16	208,46	
Celková tepelná ztráta místnosti [W]							911,42

U ostatních místností bylo při určování tepelné ztráty postupováno obdobně. Přehled výpočtu je uveden v příloze P2.



Celková tepelná ztráta objektu

Celková tepelná ztráta objektu je dána součtem tepelných ztrát prostupem tepla a větráním každé místnosti.

$$Q_{c,o} = \sum Q_{c,i} \quad (5-13)$$

kde

$Q_{c,o}$... [W] ... celková tepelná ztráta objektu

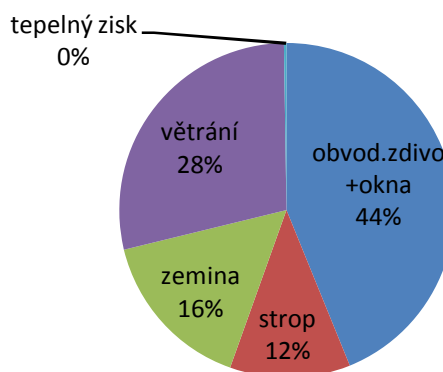
Tab. 5.7 - Celková tepelná ztráta objektu

Celková tepelná ztráta objektu		
OZNAČENÍ MÍSTNOSTI		CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA MÍSTNOSTI
		$Q_{c,i}$
číslo	Místnost	[W]
1+2	Hobby místnost	1418,02
3+4	Chodba	360,57
5	Pracovna	356,66
6	Dětský pokoj	911,50
7	Ložnice	959,07
8	Kuchyň	485,70
9+10	Koupelna	731,68
11	WC	177,22
12	Obývací pokoj	1543,08
Celková tepelná ztráta objektu [W]		6943,49

Tab. 5.8 - Číselný vývoj tepelné ztráty objektu v závislosti na venkovní teplotě

$t_e [^{\circ}\text{C}]$	$Q_{c,o} [\text{W}]$
-12	6943,49
-10	6514,60
-8	6085,71
-6	5656,83
-4	5227,94
-2	4799,05
0	4370,17
2	3941,28
4	3512,39
6	3083,51
8	2654,62
10	2225,73
12	1796,85
14	1367,96
16	939,07
18	510,18
20	81,30

Podíl tepelných ztrát objektu



Obr. 5.1 – Tepelná ztráta v procentech



Pozn.: Jak je patrné z obr. 5.1, tepelný zisk způsobený vytápěním koupelny na teplotu o 4°C vyšší než ostatní místnosti je při hodnotě 19,37W zanedbatelný.

5.4 Spotřeba elektrické energie

Pro potřeby ekonomického zhodnocení systému TČ se stávajícím zdrojem tepla je nezbytné určení roční spotřeby elektrické energie, která se v případě vybraného rodinného domu skládá z energie pro elektrické vytápění, ohřev TUV a chod domácích elektrospotřebičů. Pro určení spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřev TUV byla použita denostupňová metoda.

$$Q_{C,r} = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} + Q_{DS,r} \quad (5-14)$$

kde

$Q_{C,r}$	...	[Wh]	...	celková roční spotřeba el.energie
$Q_{VYT,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie na vytápění
$Q_{TUV,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie na ohřev TUV
$Q_{DS,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie domácích elektrospotřebičů

5.4.1 Vytápění za rok

Pro výpočet roční spotřeby el.energie na vytápění byla určena průměrná vnitřní teplota objektu t_{is} metodou váženého průměru objemů jednotlivých místností:

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (5-15)$$

kde

V_i	...	[m ³]	...	objem i-té místnosti
t_i	...	[°C]	...	teplota i-té místnosti

Tab. 5.9 - Průměrná vnitřní teplota

OZNAČENÍ MÍSTNOSTI		VÝPOČTOVÁ VNITŘNÍ TEPLOTA	VNITŘNÍ OBJEM MÍSTNOSTI	SOUČIN OBJEMU A TEPLoty
		t_i	V_i	$V_i \cdot t_i$
číslo	MÍSTNOST	[°C]	[m ³]	[m ³ · °C]
1+2	Hobby místnost	20	59,95	1199,00
3+4	Chodba	20	14,74	294,80
5	Pracovna	20	18,22	364,48
6	Dětský pokoj	20	38,32	766,48
7	Ložnice	20	41,27	825,44
8	Kuchyň	20	15,04	300,83
9+10	Koupelna	24	19,14	459,24
11	WC	20	3,56	71,29
12	Obývací pokoj	20	71,25	1425,08
celkem			281,51	5706,65



po dosažení:

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{5706,65}{281,51} = 20,27^\circ\text{C}$$

5.4.1.1 Postup výpočtu roční spotřeby energie na vytápění:

$$Q_{VYT,r} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} \quad (5-16)$$

kde

$Q_{VYT,teor}$	...	[Wh]	...	teoretická spotřeba energie na vytápění
η_R	...	[-]	...	účinnost rozvodu tepelné energie
η_o	...	[-]	...	účinnost obsluhy (resp. regulace)
η_k	...	[-]	...	účinnost zdroje tepla

Použité hodnoty:

$\eta_R = 0,965$	...	kvalita rozvodů tepla a způsob rozvodu potrubní sítě (0,95-0,98)
$\eta_o = 0,99$	...	regulace (0,99)
$\eta_k = 0,965$	...	účinnost zdroje tepla (elektrokotel 0,95-0,98)

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot \frac{Q_{c,o} \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (5-17)$$

kde

D	...	[d·K]	...	počet denostupňů
ε	...	[-]	...	opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přirážek pro výpočet tepelných ztrát objektu
e_t	...	[-]	...	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění
e_d	...	[-]	...	opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy

Použité hodnoty:

$$e_t = 0,95$$

$$e_d = 1,0$$

Počet denostupňů se určí jako:

$$D = (t_{is} - t_{m,e}) \cdot d \quad (5-18)$$

kde

d	...	[den]	...	počet dnů otopného období
$t_{m,e}$	...	[°C]	...	průměrná roční teplota

po dosažení:

$$D = (t_{is} - t_{m,e}) \cdot d = (20,27 - 3,6) \cdot 217 = 3617,39 \text{ [d·K]}$$

Opravný součinitel ε se určí jako:

$$\varepsilon = \frac{Q_P}{Q_{c,o}} \quad (5-19)$$

kde



Q_P ... [W] ... základní tepelná ztráta objektu prostupem tepla
po dosažení:

$$\varepsilon = \frac{Q_P}{Q_{c,o}} = \frac{4929,91}{6943,49} = 0,71$$

Po tomto výpočetním kroku můžeme určit teoretickou spotřebu energie na vytápění:

$$Q_{VYT, teor} = 24 \cdot \frac{6943,49 \cdot 3617,39}{(20,27 - (-12))} \cdot 0,71 \cdot 0,95 \cdot 1 = 12,60 MWh$$

Skutečná spotřeba energie na vytápění podle (5-15):

$$Q_{VYT, r} = \frac{12,60}{0,965 \cdot 0,99 \cdot 0,965} = 13,67 MWh$$

5.4.2 Ohřev TUV za rok

5.4.2.1 Postup výpočtu roční spotřeby energie na ohřev TUV:

Nejprve je nutné určit množství energie potřebné pro denní ohřev TUV:

$$Q_{TUV, den} = \frac{\rho \cdot c \cdot n \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (5-20)$$

kde

ρ	...	[kg/m ³]	...	hustota otopné vody
c	...	[kJ/kg · K]	...	měrná tepelná kapacita vody
V_{2p}	...	[m ³ /os · den]	...	potřeba teplé vody na osobu denně
t_2	...	[°C]	...	teplota ohřáté vody
t_1	...	[°C]	...	průměrná roční teplota přiváděné studené vody
n	...	[osoba]	...	počet osob v domácnosti

Podle normy ČSN 06 0320[23] byla určena teoretická spotřeba TUV na $V_{2p} = 0,082 \text{ m}^3/\text{os} \cdot \text{den}$.

spotřeba pro 4 osoby:

$$V_{2p} = n \cdot V_{2p} = 4 \cdot 0,082 = 0,328 \text{ m}^3/\text{den}$$

po dosažení:

$$Q_{TUV, den} = \frac{998 \cdot 4182 \cdot 0,328 \cdot (50 - 10)}{3600} = 15,1 \text{ kWh/den}$$

Množství energie potřebné pro roční ohřev TUV:

$$Q_{TUV, r} = Q_{TUV, den} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV, den} \cdot \frac{t_2 - t_{1, léto}}{t_2 - t_{1, zima}} \cdot (N - d) \quad (5-21)$$

kde

$t_{1, léto}$	...	[°C]	...	teplota studené vody v létě
$t_{1, zima}$	...	[°C]	...	teplota studené vody v zimě



N ... [den] ... počet pracovních dní soustavy

po dosazení:

$$Q_{TUV,r} = 15,1 \cdot 217 + 0,8 \cdot 15,1 \cdot \frac{50-15}{50-5} \cdot (365 - 217) = 4,7 \text{ MWh/rok}$$

5.4.3 Elektrické spotřebiče domácnosti

Růst spotřeby elektrické energie domácích spotřebičů je přisuzován trendu zvyšování jejich počtu. V dnešní době je zcela běžné, že má jedna domácnost 2 až 3 televizory, chladničky, mrazničky a každý člen domácnosti své PC nebo laptop.

Procentuální hodnota spotřeby el.energie vlastních spotřebičů vybraného objektu byla převzata z [24] a dopočítána na $Q_{DS,r} = 4,6 \text{ MWh}$.

Celková roční spotřeba elektrické energie vybraného objektu je dána dosazením do (5-14), viz. Tab. 5.10.

Tab. 5.10 - Celková roční spotřeba el.energie objektu

Roční spotřeba el.energie objektu		
Elektrické spotřebiče domácnosti	4,6	[MWh]
Ohřev TUV	4,7	
Vytápění	13,67	
Spotřeba el.energie celkem	22,97	

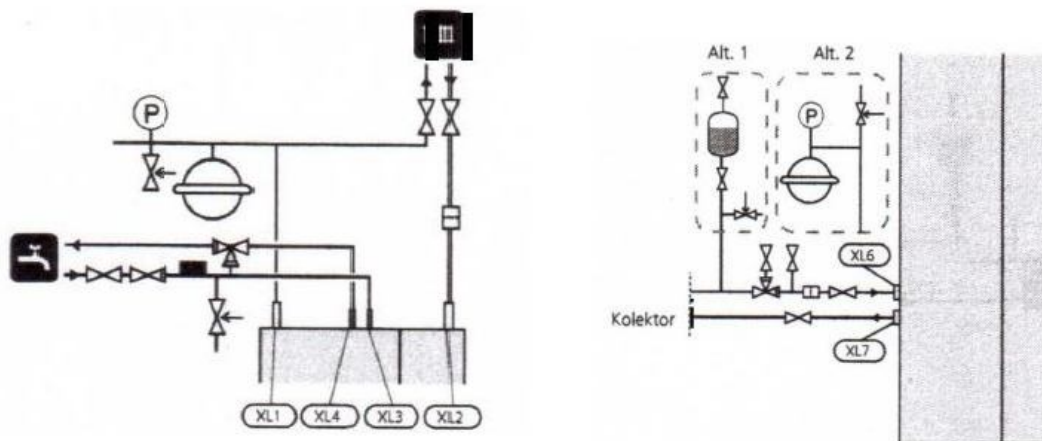
6. Výběr TČ

Při volbě vhodného typu tepelného čerpadla byly brány v úvahu klimatické podmínky a poměrně rozsáhlá nevyužívaná zahradní plocha pozemku rodinného domu o velikosti cca 500m². Díky těmto dvěma faktorům se proto investor rozhodl zvážit možnosti instalace TČ vzduch - voda nebo TČ země - voda s plošnými kolektory.

Z celé škály firem s tepelnými čerpadly působících na českém trhu se investor rozhodl pro produktovou řadu TČ od švédské firmy Nibe Industrier AB. Byly poskytnuty nabídky na oba typy zvažovaných tepelných čerpadel:

6.1 Nabídka TČ země - voda

Systém TČ NIBE F1245-6 zahrnuje integrovaný 180l zásobník TUV, akumulací nádrž NAD 250, topnou spirálu jako bivalentní zdroj o 9kW, nízkoenergetická cirkulační čerpadla GRUNDFOS, inteligentní řídicí systém, jednotku měkkého startu kompresoru. Při podlahovém vytápění o teplotním spádu 0/35°C dosahuje topného faktoru až 4,93. [22]



Obr. 6.1 - Schéma zapojení TČ NIBE země – voda [22]

Tab. 6.1 - Pořizovací cena TČ země – voda [22]

NIBE ZEMĚ - VODA		
Položka	jedn.	Kč/jedn.
Tepelné čerpadlo NIBEF1245-6	1	180000
NIBE KB 25 - Plnicí sada primárního okruhu	1	4000
NIBE APP - Aplikace pro mobilní telefon		0
Instalační montážní materiál	1	15519
Montáž tepelného čerpadla	1	16761
Potrubí + kapalina položení + plošného kolektoru	352	22880
Zemní práce + přívod do domu 2x20m	352	26400
Rozdělovač/sběrač primárního okruhu 2 okruhy	1	5190
Jímka pro rozdělovač/sběrač - 2x20m	1	4800
Uvedení do provozu	1	5000
celkem bez DPH		280550
předpokládaná sleva akce 2012		-27000
Sleva při odběru v 1. pololetí 2012		-9000

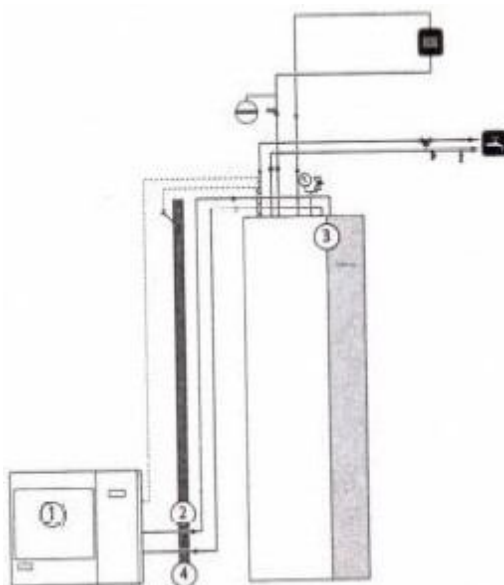
Sleva prodloužené záruky	-10000
Celkem bez DPH po slevě	234550
Celkem s 14% DPH	267387

6.2 Nabídka TČ vzduch - voda

Systém TČ NIBE vzduch – voda v provedení split zahrnuje venkovní jednotku AMS 10-8 s ultratichým ventilátorem a dvojité rotačním kompresorem Mitsubishi a vnitřní jednotku ACVM 270. Příkon kompresoru i ventilátoru je regulován podle aktuální potřeby tepla. Plynulá regulace výkonu 3,5 – 8kW. [22]

Tab. 6.2 - Pořizovací cena TČ vzduch – voda [22]

NIBE VZDUCH - VODA	
Položka	Kč
TČ vnější jednotka AMS 10 - 8	88000
TČ vnitřní jednotka ACVM 270	120000
Ohřev odkapní misky DPH 10	2000
Konzola na zavěšení na stěnu	2600
Chladivové potrubí vč. izolace	10000
Instalační materiál (vodoinstalo + elektro)	11252
Montáž topenářská + elektro	11449
Montáž chladářská vč. čistic.plynu a naplnění	4000
Uvedení do provozu vč.revizní zprávy	5000
celkem bez DPH	254301
předpokládaná sleva akce 2012	-50000
Sleva prodloužené záruky	-10000
Celkem bez DPH po slevě	194301
Celkem s 14% DPH	221503



Obr. 6.2 - Schéma zapojení TČ NIBE vzduch – voda [22]



7. Ekonomické zhodnocení

Protože jsou všechny uvažované zdroje tepla pro vybraný objekt poháněny elektrickou energií, je dobré si uvědomit, z jakých položek se cena spotřebované elektřiny pro koncového spotřebitele skládá: [25],[26]

7.1 Skladba platby za elektřinu

- cena za odběr
 - stálý měsíční plat nezávislý na velikosti jističe a odběru
 - cena za dodávku v NT
 - cena za dodávku v VT
 - daň z elektřiny
- cena za distribuci
 - stálý plat za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem
 - cena za distribuci v NT
 - cena za distribuci v VT
- cena za služby
 - cena za systémové služby
 - cena na podporu elektřiny z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů
 - cena za zúčtování Operátora trhu s elektřinou, a.s.

7.2 Cena elektrické energie bez provozu TČ

Při výpočtu celkové ceny spotřebované elektrické energie vybraného objektu byla uvažována sazba D 45d pro přímotopné vytápění s operativním řízením platnosti NT po dobu 20h/den. Z průměrné hodnoty spotřeby elektrické energie v době NT a VT za 3 fakturační období poskytnuté investorem vyplývá, že 97,3% spotřebované energie připadá na NT a 2,7% na VT. Tento poměr byl dále uvažován ve výpočtu.

Uvedené ceny použité v Tab. 7.1., 7.2 a 7.3 byly odečteny z ceníků společnosti E.ON pro rok 2012 pro zákazníky kategorie D-Domácnost. Ceníky jsou cenově pro obě sazby D 45d a D 56d stejné. [25],[26]

Tab. 7.1 - Cena roční spotřeby elektřiny bez TČ při sazbě D 45d

Roční náklady na provoz elektrokotle						
E.ON						
SAZBA D 45d	suma	jednotka	bez DPH	vč. DPH	Kč/rok bez DPH	Kč/rok vč. DPH
CENA ZA ODBĚR						
stálý plat	12	[Kč/měsíc]	48	58	576	696
elektřina v VT	0,62	[Kč/MWh]	2044,00	2453,00	1267,28	1520,86
elektřina v NT	22,35	[Kč/MWh]	1526,00	1831,00	34106,10	40922,85
daň z elektřiny	22,97	[Kč/MWh]	28,30	33,96	650,05	780,06

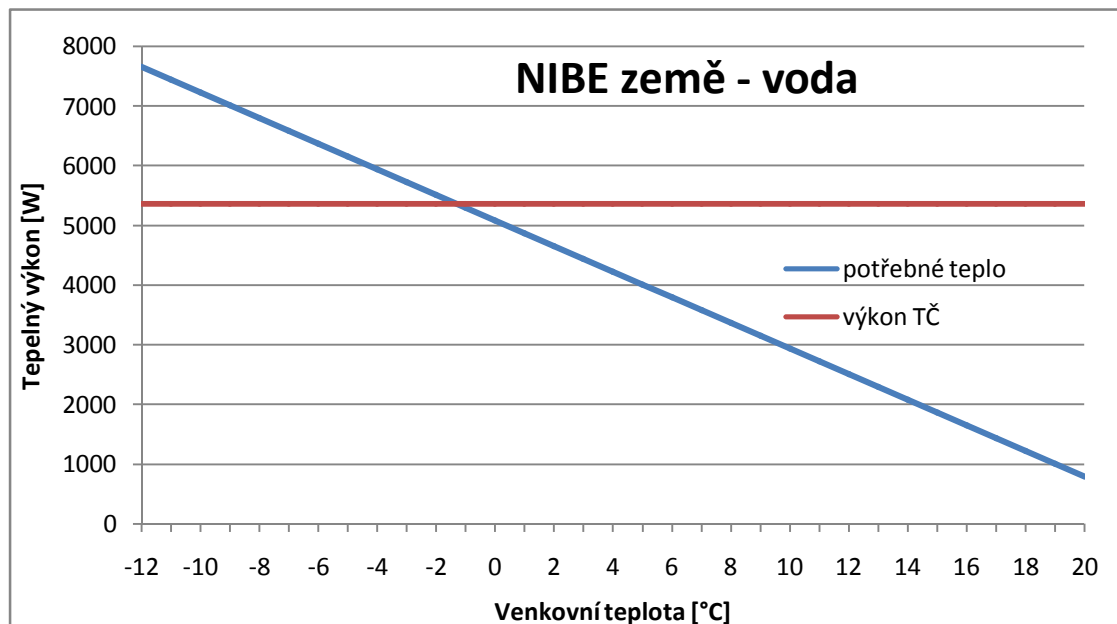
Cena za odběr celkem				36599,43	43919,77
CENA ZA DISTRIBUCI					
stálý plat za jistič	12	[Kč/měsíc]	240,00	288,00	3456,00
elektřina v VT	0,62	[Kč/MWh]	211,45	253,74	157,32
elektřina v NT	22,35	[Kč/MWh]	27,63	33,16	741,04
Cena za distribuci celkem				3628,63	4354,36
CENA ZA SLUŽBY					
systémové služby	22,97	[Kč/MWh]	144,00	172,80	3307,68
podpora elektřiny z OZ	22,97	[Kč/MWh]	419,22	503,06	9629,48
Operátor trhu s elektřinou, a.s.	22,97	[Kč/MWh]	6,75	8,10	155,05
Cena za distribuci celkem				13092,21	15710,65
Cena za roční spotřebu elektřiny celkem vč.DPH					63984,78

7.3 Cena elektrické energie při provozu TČ

7.3.1 Tepelné čerpadlo země - voda

Při výpočtu celkové ceny spotřebované elektrické energie při systému vytápění a ohřevu TUV s TČ byla uvažována sazba D 56d, což je sazba pro vytápění TČ uvedeným do provozu od 1. 4. 2005 s operativním řízením doby platnosti NT. Časové vymezení doby platnosti NT je stanoveno na 22h/den. [25],[26]

Protože TČ země - voda od firmy NIBE bude provozováno v paralelně bivalentním režimu (viz. Kap. 2.4), pokryje svým chodem 92,31% roční potřeby tepla pro vytápění a ohřev TUV. Při bodu bivalence $-1,3^{\circ}\text{C}$ TČ obstarává 70% dodávky tepla (viz. obr. 7.1).



Obr. 7.1 - Graf potřeby tepla objektu na vytápění a TUV a jmenovitého výkonu TČ země – voda v závislosti na venkovní teplotě

Pozn.: Obr. 7.1 je ilustrativního charakteru, neboť výkon TČ není konstantní. Skutečný výkon se mění v závislosti na teplotě zdroje NPT (půda), která se provozem TČ snižuje a akumulací energie dopadajícího slunečního záření zase „nabíjí“.



7.3.1.1 Náklady na provoz TČ země - voda s bivalentním zdrojem

Nejprve je potřeba určit, kolik tepla ročně dodá TČ NIBE F1245-6 země – voda a kolik bivalentní zdroj. Z obr. 7.1 vyplývá, že při průměrné venkovní teplotě 3,6°C v otopném období svým výkonem TČ obstarává 100% dodávku tepla.

Určení množství tepla potřebného za otopné období 217dní:

$$Q_{otop} = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,otop} \quad (7-1)$$

kde

$$Q_{TUV,otop} = Q_{TUV,den} \cdot d \quad (7-2)$$

po dosazení:

$$Q_{TUV,otop} = 15,1 \cdot 217 = 3280kWh = 3,28MWh$$

Celkové teplo za otopné období 217dní:

$$Q_{otop,217} = 13,67 + 3,28 = 16,95MWh$$

Dále je nutné při sazbě D 56d vzít v úvahu, že je TČ denně odstaveno po dobu $\frac{22}{24}$ h, tedy na 2h dodávku tepla přebírá bivalentní zdroj. Přerozdělení dodávky tepla za otopné období mezi TČ a bivalentním zdrojem bude:

$$Q_{TČ} = Q_{otop} \cdot \frac{22}{24} \quad (7-3)$$

po dosazení:

$$Q_{TČ,otop} = 16,95 \cdot \frac{22}{24} = 15,54MWh$$

Bivalentní zdroj v otopném období 217 dní potom obstarává:

$$Q_{b.zdroj} = Q_{otop} - Q_{TČ} \quad (7-4)$$

po dosazení:

$$Q_{b.zdroj} = 16,95 - 15,54 = 1,41MWh$$

Pro určení tepla pro ohřev TUV za neotopné období 148 dní použijeme 2. část vztahu (5-14):

$$Q_{TUV,neotop} = 0,8 \cdot Q_{TUV,den} \cdot \frac{t_2 - t_{1,léto}}{t_2 - t_{1,zima}} \cdot (N - d) \quad (7-5)$$

po dosazení:

$$Q_{TUV,neotop} = 0,8 \cdot 15,1 \cdot \frac{50-15}{50-5} \cdot (365 - 217) = 1,39MWh$$

Celková roční dodávka tepla TČ:

$$Q_{TČ,c} = Q_{TČ,otop} + Q_{TUV,neotop} \quad (7-6)$$

po dosazení:

$$Q_{TČ,c} = 15,54 + 1,39 = 16,93MWh$$



Při celkové roční potřebě tepla na ohřev TUV a vytápění se TČ podílí:

$$Po_{TČ} = \frac{Q_{TČ,c}}{Q_{otop,217} + Q_{TUV,neotop}} \cdot 100$$

kde

$Po_{TČ}$... [%] ... podíl roční dodávky tepla tepelným čerpadlem

po dosazení:

$$Po_{TČ} = \frac{16,93}{16,95 + 1,39} \cdot 100 = 92,31\%$$

Roční spotřeba el.energie TČ země - voda při průměrném ročním topném faktoru $\varepsilon = 3,62$:

$$P_{TČ,r} = \frac{Q_{TČ,c}}{\varepsilon} + P_{p,cč.} \quad (7-7)$$

kde

$P_{TČ,r}$... [MWh] ... roční spotřeba (příkon) TČ

$P_{p,cč}$... [MWh] ... roční spotřeba (příkon) cirkulačních čerpadel []

po dosazení:

$$P_{TČ,r} = \frac{16,93}{3,62} + 0,304 = 4,98 MWh$$

Roční spotřeba el.energie s TČ země - voda je rovna:

$$El_{c,r} = P_{TČ,r} + Q_{b.zdroj} + Q_{SP,r} \quad (7-8)$$

kde

$El_{c,r}$... [MWh] ... roční spotřeba elektřiny s TČ

po dosazení:

$$El_{c,r} = 4,98 + 1,41 + 4,6 = 10,99 MWh$$

Protože lze jen stěží určit, do jaké míry bude chod domácích spotřebičů provozován v NT a VT, byl uvažován podíl spotřeby použitý při provozních nákladech elektrokotle (viz. Kap. 6.2) pro obě tepelná čerpadla. Celkové roční provozní náklady varianty země - voda jsou uvedeny v Tab. 7.2.

Tab. 7.2 - Cena roční spotřeby elektřiny s TČ země - voda při sazbě D 65d

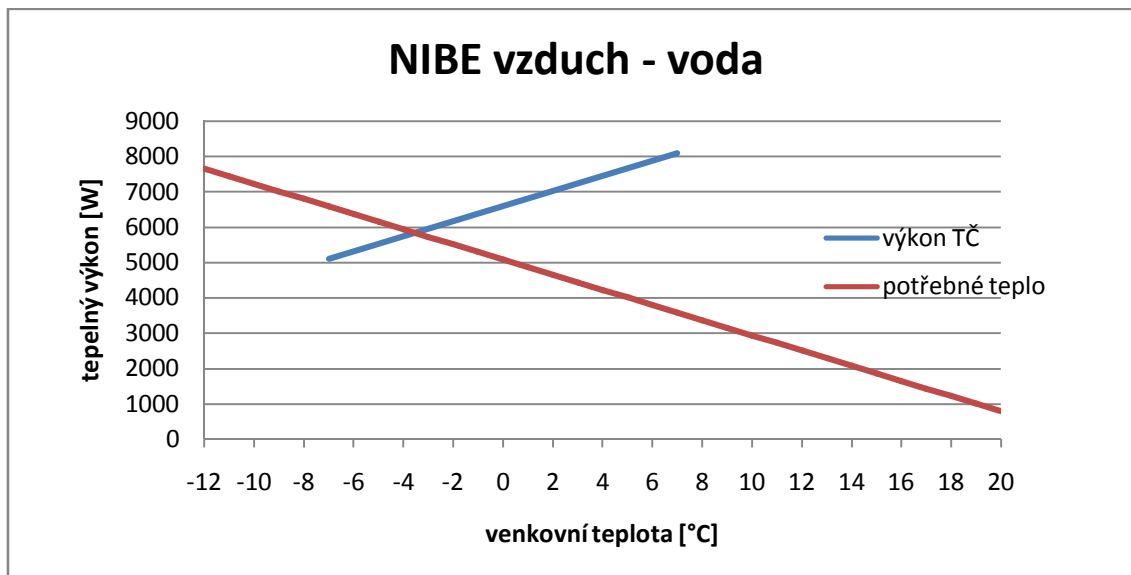
Roční náklady na provoz TČ země - voda						
E.ON						
SAZBA D 65d	suma	jednotka	bez DPH	vč.DPH	Kč/rok bez DPH	Kč/rok vč. DPH
CENA ZA ODBĚR						
stálý plat	12	[Kč/měsíc]	48	58	576	696

elektřina v VT	1,53	[Kč/MWh]	2044,00	2453,00	3127,32	3753,09
elektřina v NT	9,46	[Kč/MWh]	1526,00	1831,00	14435,96	17321,26
daň z elektřiny	10,99	[Kč/MWh]	28,30	33,96	311,02	373,22
Cena za odběr celkem					18450,3	22143,57
CENA ZA DISTRIBUCI						
stálý plat za jistič	12	[Kč/měsíc]	240,00	288,00	2880,00	3456,00
elektřina v VT	1,53	[Kč/MWh]	211,45	253,74	323,52	388,22
elektřina v NT	9,46	[Kč/MWh]	27,63	33,16	261,38	313,66
Cena za distribuci celkem					3464,90	4157,88
CENA ZA SLUŽBY						
systémové služby	10,99	[Kč/MWh]	144,00	172,80	1582,56	1899,07
podpora elektřiny z OZ	10,99	[Kč/MWh]	419,22	503,06	4607,23	5528,67
Operátor trhu s elektřinou, a.s.	10,99	[Kč/MWh]	6,75	8,10	74,18	89,02
Cena za distribuci celkem					6263,97	7516,76
Cena za roční spotřebu elektřiny celkem vč.DPH						33818,21

7.3.2 Tepelné čerpadlo vzduch - voda

7.3.2.1 Náklady na provoz TČ vzduch - voda s bivalentním zdrojem

Při určení ročních provozních nákladů systému s TČ vzduch - voda bylo postupováno obdobně jako u systému s TČ země – voda. Bylo však zapotřebí vzít v úvahu, že se průměrný topný faktor pro otopné a neotopné období výrazně mění. Bod bivalence byl stanoven na $-3,9^{\circ}\text{C}$, přičemž při této teplotě TČ obstarává 78% potřeby tepla (viz. obr. 7.2).



Obr. 7.2 - Graf potřeby tepla objektu na vytápění a TUV a jmenovitého výkonu TČ vzduch – voda v závislosti na venkovní teplotě

Pozn.: Grafické znázornění výkonu TČ na obr. 7.2 bylo sestrojeno z technických parametrů (viz. příloha P3) poskytnutých dodavatelem [22].

Spotřeba el.energie TČ vzduch – voda při průměrné teplotě $3,6^{\circ}\text{C}$ a topném faktoru $\varepsilon_{vz,otop} = 2,71$ v otopném období:



$$P_{T\check{c},otop} = \frac{Q_{T\check{c},otop}}{\varepsilon_{vz,otop}} \quad (7-9)$$

po dosazení:

$$P_{T\check{c},otop} = \frac{15,54}{2,71} = 5,73 MWh$$

Jelikož z tabulkových hodnot technických parametrů poskytnutých dodavatelem [22] nebyl znám topný faktor při průměrné teplotě neotopného období, bylo počítáno s topným faktorem $\varepsilon_{vz,otop} = 2,97$ při venkovní teplotě 7°C.

$$P_{T\check{c},neotop} = \frac{Q_{T\check{c},neotop}}{\varepsilon_{vz,neotop}} \quad (7-10)$$

po dosazení:

$$P_{T\check{c},neotop} = \frac{1,39}{2,97} = 0,47 MWh$$

Celkové roční provozní náklady spotřeby elektrické energie systémem vzduch – voda jsou uvedeny v Tab. 7.3.

Tab. 7.3 - Cena roční spotřeby elektřiny s TČ vzduch - voda při sazbě D 65d

Roční náklady na provoz TČ vzduch - voda						
E.ON						
SAZBA D 65d	suma	jednotka	bez DPH	vč.DPH	Kč/rok bez DPH	Kč/rok vč. DPH
CENA ZA ODBĚR						
stálý plat	12	[Kč/měsíc]	48	58	576	696
elektřina v VT	1,53	[Kč/MWh]	2044,00	2453,00	3127,32	3753,09
elektřina v NT	10,68	[Kč/MWh]	1526,00	1831,00	16297,68	19555,08
daň z elektřiny	12,21	[Kč/MWh]	28,30	33,96	345,54	414,65
Cena za odběr celkem					20346,54	24418,82
CENA ZA DISTRIBUCI						
stálý plat za jistič	12	[Kč/měsíc]	240,00	288,00	2880,00	3456,00
elektřina v VT	1,53	[Kč/MWh]	211,45	253,74	323,52	388,22
elektřina v NT	10,68	[Kč/MWh]	27,63	33,16	295,09	354,11
Cena za distribuci celkem					3498,61	4198,33
CENA ZA SLUŽBY						
systémové služby	12,21	[Kč/MWh]	144,00	172,80	1758,24	2109,89
podpora elektřiny z OZ	12,21	[Kč/MWh]	419,22	503,06	5118,68	6142,41
Operátor trhu s elektřinou, a.s.	12,21	[Kč/MWh]	6,75	8,10	82,42	98,90
Cena za distribuci celkem					6959,33	8351,20
Cena za roční spotřebu elektřiny celkem vč.DPH						36968,35



7.4 Návratnost investice

7.4.1 Prostá návratnost

Při pohledu na tepelná čerpadla jako na nestárnoucí majetek můžeme určit prostou návratnost investice vydělením pořizovacích nákladů každého TČ jeho roční provozní úsporou nákladů na obstarávání dodávky tepla pro roční ohřev TUV a vytápění, vztažených k ročním nákladům stávajícího zdroje tepla (elektrokotle).

Nejprve si určíme úspory provozních nákladů obou systémů s TČ:

$$\dot{U}_{TČ,země,r} = N_{el,k,r} - N_{TČ,země,r} \quad (7-11)$$

kde

$\dot{U}_{TČ,země,r}$	...	[Kč]	...	roční úspora nákladů TČ země - voda
$N_{el,k,r}$	...	[Kč]	...	roční provozní náklady elektrokotle
$N_{TČ,země,r}$	...	[Kč]	...	roční provozní náklady TČ země – voda

po dosazení:

$$\dot{U}_{TČ,země,r} = 63984,78 - 33818,21 = 30166,57 \text{ Kč}$$

Stejný způsob byl aplikován pro určení roční úspory provozních nákladů TČ vzduch – voda s výsledkem $\dot{U}_{TČ,vzduch,r} = 27016,43 \text{ Kč}$.

Návratnost obou typů potom bude:

$$N_{TČ,země} = \frac{PC_{TČ,země}}{\dot{U}_{TČ,země,r}} \quad (7-12)$$

kde

$N_{TČ,země}$	...	[rok]	...	návratnost investice do TČ země - voda
$PC_{TČ,země}$	...	[Kč]	...	pořizovací náklady TČ země - voda

po dosazení:

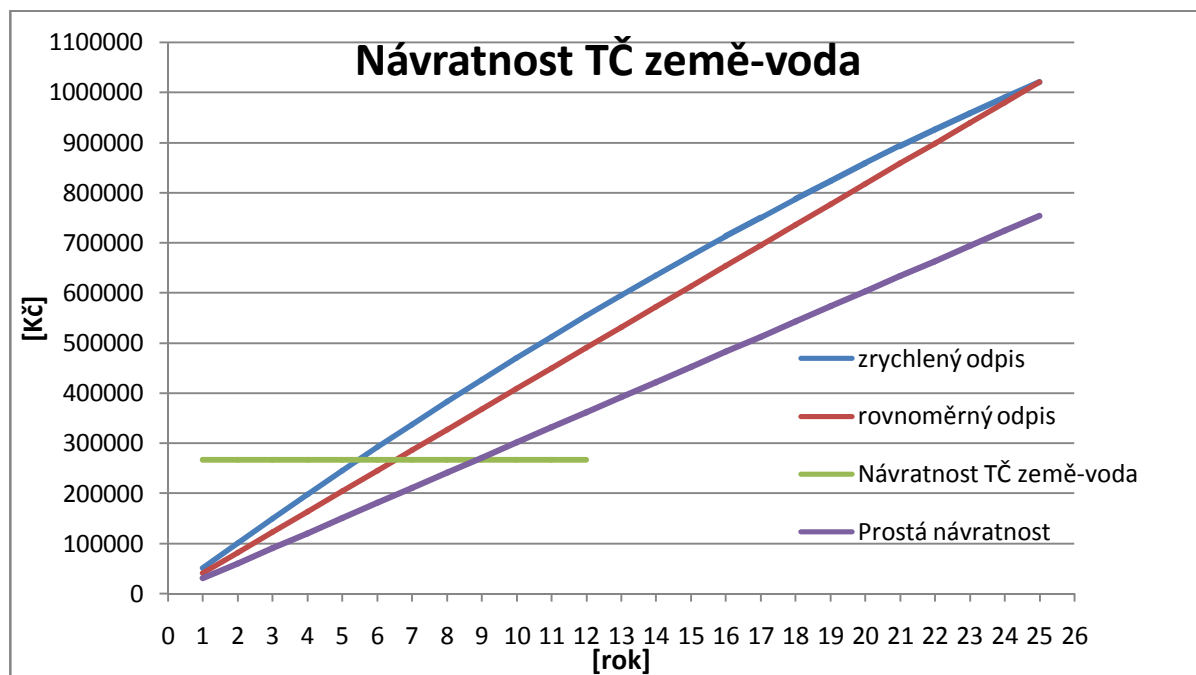
$$N_{TČ,země} = \frac{267387}{30166,57} = 8,86 \text{ let}$$

Obdobným způsobem byl proveden výpočet návratnosti TČ vzduch – voda s návratností $N_{TČ,vzduch} = 8,2 \text{ let}$.

Při pohledu na tepelná čerpadla jako na majetek, který má předpokládanou dobu životnosti cca 25let díky rotačním kompresorům Scroll, a tedy každým rokem ztrácí na své hodnotě, můžeme posoudit návratnost dvěma metodami odpisování:

7.4.2 Návratnost při lineárním odpisování

Při lineárním odpisování se uvažuje, že majetek po dobu stanovené životnosti ztrácí rovnoměrně na své ceně. Hodnota, o kterou majetek v každém roce cenově stárne, se nazývá odpis. Roční odpis majetku se určí jako pořizovací cena majetku vydělená obdobím, po které se majetek odpisuje (jeho životností).



Obr. 7.3 - Grafické znázornění návratnosti TČ země-voda

V našem případě je pořizovací cena TČ země – voda $PC_{TČ,země} = 267387 \text{ Kč}$. Výše ročního odpisu se stanoví jako:

$$OD_{TČ,země,r} = \frac{PC_{TČ,země}}{\dot{Z}I_{TČ,země}} \quad (7-13)$$

kde

$OD_{TČ,země,r}$... [Kč] ... roční odpis TČ země – voda
 $\dot{Z}I_{TČ,země}$... [rok] ... životnost TČ země – voda

po dosazení:

$$OD_{TČ,země,r} = \frac{267387}{25} = 10\,695,48 \text{ Kč}$$

Protože na sebe TČ země – voda každým rokem vydělává $\dot{U}_{TČ,země,r} = 30166,57 \text{ Kč}$, avšak současně rovnoměrně ztrácí svoji hodnotu o $OD_{TČ,země,r} = 10\,695,48 \text{ Kč}$ ročně, zrychlí se jeho návratnost na 6,54 let. V případě TČ vzduch – voda na 6,17 let. Průběh návratnosti zobrazen na obr. 7.3 a 7.4.

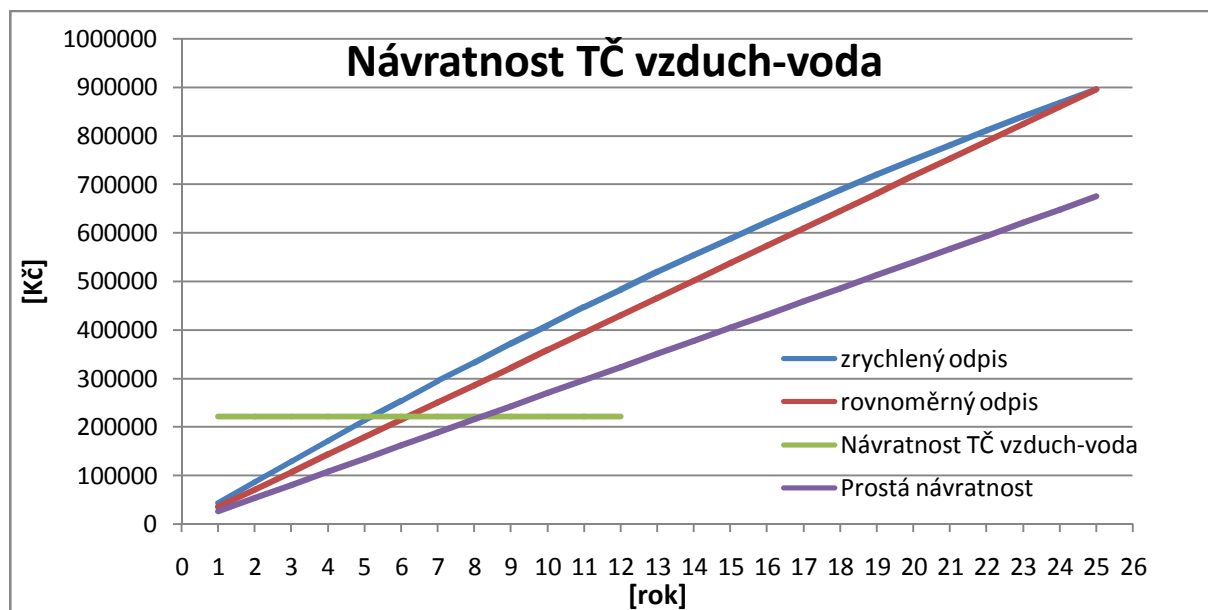
7.4.3 Návratnost při degresivním odpisování

Při degresivním (zrychleném) odpisování majetku se uvažuje, že výše ročních odpisů má sestupnou tendenci, tedy na začátku odpisování je odpisová částka největší a směrem ke konci životnosti klesá, přičemž na konci je zůstatková cena majetku rovna odpisu v posledním roce odpisování. Pro každý rok je nutné určit odpisovou sazbu Os :

Odpisová sazba pro x -tý rok:

$$Os_{x,r} = \frac{\dot{Z}I_{1+1-x}}{\dot{Z}I_{1+\frac{1+\dot{Z}I}{2}}} ; x \in (1; \dot{Z}I) \quad (7-14)$$

kde

$Os_{x,r}$... [Kč] ... odpisová sazba pro x-tý rok

Obr. 7.4 - Grafické znázornění návratnosti TČ vzduch-voda

po dosažení pro 1. rok odpisování TČ země - voda:

$$Os_{1,r} = \frac{25 + 1 - 1}{25 \cdot \frac{1 + 25}{2}} = 0,0769$$

Odpisová částka pro první rok se potom určí jako:

$$Oč_{1,r} = Os_{1,r} \cdot PC_{TČ,země} \quad (7-15)$$

po dosažení pro 1. rok odpisování TČ země - voda:

$$Oč_{1,r} = 0,0769 \cdot 267387 = 20568,231 \text{ Kč}$$

Protože na sebe TČ země – voda každým rokem vydělává $\dot{U}_{TČ,země,r} = 30166,57 \text{ Kč}$, avšak současně ztrácí sestupně svoji hodnotu, zrychlí se jeho návratnost na 5,46 let. V případě TČ vzduch – voda, které na sebe vydělá ročně 27016,43 Kč, se zrychlí návratnost na 5,2 let. Grafický průběh návratnosti je zobrazen na obr. 7.3 a 7.4.

Tab. 7.4 – Číselné hodnoty návratností obou typů

Návratnost			
metoda	jednotka	TČ země - voda	TČ vzduch - voda
prostá návratnost		8,86	8,2
rovnoměrný odpis	[rok]	6,54	6,17
zrychlený odpis		5,46	5,2



8. Závěr

Předmětem mé bakalářské práce bylo v rešeršní části přiblížit potenciálním investorům problematiku tepelných čerpadel. V úvodu byl nastíněn retrospektivní a současný pohled na postavení TČ u nás i ve světě. Byl vysvětlen princip fungování nejpoužívanějšího parního kompresorového tepelného čerpadla a ukazatele jeho efektivnosti. Dále byly nastíněny možnosti provozních režimů společně se zdroji NPT. Závěrem rešeršní části jsem popsal základní komponenty TČ.

Ve výpočtové části bylo hlavním cílem určit pro vybraný rodinný domek tepelnou ztrátu, která byla vypočtena na 7kW. Tato hodnota je uspokojivá, přestože byla tepelná ztráta projektována na 9,7kW. Vzniklou diferencí přisuzuji skutečnosti silnější stropní izolace společně s nezahrnutím zátopového výkonu, který se při vytápění tepelným čerpadlem neuvažuje. Množství tepla potřebné pro ohřev TUV považuji za velice nadhodnocené, což přisuzuji skutečnosti počítání s normovanou hodnotou denní spotřeby užitkové vody na osobu, která činí $V_{2p} = 0,082 m^3/os \cdot den$. Reálná hodnota však nebyla k dispozici, odhaduji ji cca na polovinu. V takovém případě by se roční provozní náklady snížily cca o 20%.

Při výpočtu provozních nákladů na dodávku tepla promítnutých do ceny elektrické energie považuji jako za zcela zásadní položku podpory výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, která se od roku 2008 pro rok 2012 zvýšila o 1000%. Tato skutečnost je velice nepříjemná pro koncového spotřebitele s elektrickým vytápěním (případ vybraného objektu), který tak v roce 2012 zaplatí na položce podpory OZ za 1MWh 10x více (v případě vybraného RD cca 10,000Kč) než při stejné roční spotřebě elektřiny v roce 2008. Provoz s TČ však tyto náklady sníží na cca 50%.

Investice do TČ by pro vybraný RD přinesla snížení celkové roční spotřeby elektrické energie na polovinu, a tedy roční úsporu ve výši poloviny nákladů na dodávku tepla pro ohřev TUV a vytápění stávajícím elektrokotlem. Tato skutečnost rozhodně stojí za zvážení.

Z ekonomického hlediska bych se jako investor při volbě nejvhodnějšího TČ pro vybraný rodinný domek rozhodl pro TČ země - voda, neboť i přes delší dobu návratnosti cca 240 dní vydělá během životnosti o cca 35000Kč více než vzduch-voda. Z praktického hlediska bych se přiklonil pro volbu TČ vzduch - voda, neboť je oproti TČ země - voda nenáročná na instalaci a při poruše na primárním okruhu není nutné rozkopat celou zahradu.

Tepelná čerpadla mají mimořádný potenciál pro úsporu, čímž si vydobýly v dnešní době ekonomické nestability a permanentního zvyšování cen energií nezastupitelnou pozici „hráče s nízkými cenami energií“. Není proto vyloučené, že se stanou preferovanou a standartní součástí při projektování novostaveb.



9. Seznam použitých zdrojů

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. *Vytápění*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011, 151 s. ISBN 978-80-251-3329-3.
- [3] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 109 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [4] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce-Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla: Výpočtová metoda*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008. Dostupné z: <http://csnonline.unmz.cz/>
- [6] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2010* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument87215.html>
- [7] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2009* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument77774.html>
- [8] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2008* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument64065.html>
- [9] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2007* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument49171.html>
- [10] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2006* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument34341.html>
- [11] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Tepelná čerpadla v roce 2005* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument22777.html>
- [12] SLOVÁČEK, Josef. *Tepelná čerpadla v ČR* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/?page=6.tepelna-cerpadla-v-cr>
- [13] TERMO KOMFORT S.R.O. *Princip tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.dimplex.cz/tepelna-cerpadla/>
- [14] KRAJSKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA OLOMOUCKÉHO KRAJE. *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.keamolouc.cz/index.php?ca=zdroje&ar=02>
- [15] PZP HEATING A.S. *Tepelná čerpadla vzduch voda Split* [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/7Ut2AgRJWUypkNKt?kontrola=1>
- [16] PORTÁL TZB-INFO. *Proč zvolit tepelné čerpadlo vzduch-voda* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4406-proc-zvolit-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>
- [17] IDNES.CZ. *Tepelná čerpadla šetří energii, investice je ale stále vysoká* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://hobby.idnes.cz/tepelna-cerpadla-setri-energii-investice-je-ale-stale-vysoka-pro-/hobby-domov.aspx?c=A081112_173115_hobby-domov_bma
- [18] STIEBEL ELTRON SPOL. S R.O. *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://hobby.idnes.cz/tepelna-cerpadla-setri-energii-investice-je-ale-stale-vysoka-pro-/hobby-domov.aspx?c=A081112_173115_hobby-domov_bma



- [19] GEROTOP SPOL. S R.O. *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/sluzby-a-clanky-na-tema-tc/energeticke-piloty/>
- [20] TEPLOTECHNIKA, s.r.o. *Tepelné čerpadlo voda - voda* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.teplotechnika.cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda>
- [21] Kompresory. [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/PS/kompresory-skripta.pdf>
- [22] GEOHEAT s.r.o. – firemní podklady – kontaktní osoba p.Josef Neuman
- [23] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody: Navrhování a projektování*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006. Dostupné z: <http://csnonline.unmz.cz/>
- [24] HALUZA, Miroslav a Jan MACHÁČEK. Spotřeba elektrické energie domácností, predikce a potenciální úspory pomocí BACS. [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8570-spotreba-elektricke-energie-domacnosti-predikce-a-potencialni-uspory-pomoci-bacs>
- [25] E.ON. *Přehled sazeb a cen pro zákazníky kategorie D-domácnost* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/EON_prehled_sazeb_cen_distribuce_dom_2012.pdf
- [26] E.ON. *Ceník: Produktová řada Elektřina* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/EON_cenik_domacnosti_2012.pdf



10. Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka

TČ	...	tepelné čerpadlo
TUV	...	teplá užitková voda
NPT	...	nízkopotenciální teplo
TEV	...	termostatický expanzní ventil
MOP	...	maximální provozní tlak
PE	...	polyetylen
OZ	...	obnovitelné zdroje
COP	...	topný faktor

Symbol	Jednotka	
ε	...	[-]
P	...	[J]
P_p	...	[J]
A	...	[J]
T_H	...	[K]
T_C	...	[K]
Q_H	...	[J]
Q_C	...	[J]
COP_{sk}	...	[-]
T	...	[K]
s	...	[J/kg.K]
P_s	...	[$m^3 \cdot Pa^{-1}$]
V_p	...	[m^3]
σ_c	...	[-]
p_v	...	[Pa]
p_s	...	[Pa]
t_e	...	[°C]
$t_{m,e}$...	[°C]
d	...	[den]
t_{int}	...	[°C]
A	...	[m^2]
V	...	[m^3]
R_T	...	[$m^2 K/W$]
R_{si}	...	[$m^2 K/W$]
R	...	[$m^2 K/W$]
R_{se}	...	[$m^2 K/W$]
U_k	...	[$W/m^2 K$]
α_{si}	...	[$W/m^2 K$]
α_{se}	...	[$W/m^2 K$]
λ	...	[$W/m K$]
δ	...	[m]
$Q_{c,i}$...	[W]
$Q_{p,i}$...	[W]
$Q_{v,i}$...	[W]



$H_{T,ie}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí
$H_{T,iue}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem
$H_{T,ig}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru
$H_{T,ij}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na jinou teplotu
$t_{int,i}$	...	[°C]	...	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru
A_k	...	[m ²]	...	plocha stavební části
U_{kc}	...	[W/m ² K]	...	korekce součinitele prostupu tepla pro tepelné mosty
f_{g1}	...	[-]	...	korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty
G_w	...	[-]	...	korekční činitel zohledňující vliv spodní vody
U_{ekv}	...	[W/m ² K]	...	ekvivalentní součinitel prostupu tepla
b_g	...	[-]	...	činitel teplotní redukce pro venkovní výpočtovou a průměrnou teplotní hodnotou
t_j	...	[°C]	...	teplota vytápěného sousedního prostoru
b_{ij}	...	[-]	...	redukční teplotní činitel pro teplotu sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty
$Q_{v,i}$	...	[W]	...	tepelná ztráta větráním
$H_{v,i}$	...	[W/K]	...	součinitel tepelné ztráty větráním
$V_{min,i}$	...	[m ³]	...	hygienické množství vzduchu
n_{min}	...	[h ⁻¹]	...	minimální intenzita výměny venkovního vzduchu
V_i	...	[m ³]	...	objem vytápěné místnosti
$Q_{c,o}$	...	[W]	...	celková tepelná ztráta objektu
$Q_{c,r}$	...	[Wh]	...	celková roční spotřeba el.energie
$Q_{VYT,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie na vytápění
$Q_{TUV,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie na ohřev TUV
$Q_{SP,r}$	...	[Wh]	...	roční spotřeba el.energie domácích elektrospotřebičů
V_i	...	[m ³]	...	objem i-té místnosti
t_i	...	[°C]	...	teplota i-té místnosti
$Q_{VYT,teor}$	...	[Wh]	...	teoretická spotřeba energie na vytápění
η_R	...	[-]	...	účinnost rozvodu tepelné energie
η_o	...	[-]	...	účinnost obsluhy (resp. regulace)
η_k	...	[-]	...	účinnost zdroje tepla
$Q_{c,o}$	...	[W]	...	tepelná ztráta objektu
D	...	[d·K]	...	počet denostupňů
ε	...	[-]	...	opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírůzků pro výpočet tepelných ztrát objektu
e_t	...	[-]	...	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění
e_d	...	[-]	...	opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy
Q_P	...	[W]	...	základní tepelná ztráta objektu prostupem tepla
ρ	...	[kg/m ³]	...	hustota otopné vody



c	...	[J/kg · K]	...	měrná tepelná kapacita vody
V_{2p}	...	[m ³ /os · den]	...	potřeba teplé vody na osobu denně
t_2	...	[°C]	...	teplota ohřáté vody
t_1	...	[°C]	...	průměrná roční teplota přiváděné studené vody
n	...	[osoba]	...	počet osob v domácnosti
$t_{1,léto}$	...	[°C]	...	teplota studené vody v létě
$t_{1,zima}$	...	[°C]	...	teplota studené vody v zimě
N	...	[den]	...	počet pracovních dní soustavy
$P_{TČ,r}$	...	[MWh]	...	roční spotřeba (příkon) TČ
$P_{p,cč}$	...	[MWh]	...	roční spotřeba (příkon) cirkulačních čerpadel
$El_{c,r}$	...	[MWh]	...	roční spotřeba elektřiny s TČ
$\varepsilon_{vz,otop}$	...	[ - ]	...	topný faktor TČ vzduch – voda v otopném období
$\varepsilon_{vz,neotop}$	...	[ - ]	...	topný faktor TČ vzduch – voda v neotopném období
$\dot{U}_{TČ,země,r}$	...	[Kč]	...	roční úspora nákladů TČ země - voda
$N_{á_{el,k,r}}$	...	[Kč]	...	roční provozní náklady elektrokotle
$N_{á_{TČ,země,r}}$	...	[Kč]	...	roční provozní náklady TČ země – voda
$N_{TČ,země}$	...	[rok]	...	návratnost investice do TČ země - voda
$PC_{TČ,země}$	...	[Kč]	...	pořizovací náklady TČ země - voda
$OD_{TČ,země,r}$	...	[Kč]	...	roční odpis TČ země – voda
$\dot{Z}I_{TČ,země}$	...	[rok]	...	životnost TČ země – voda
$Os_{x,r}$	...	[Kč]	...	odpisová sazba pro x-tý rok

11. Seznam příloh

Příloha P1	...	Výpočet součinitele prostupu tepla
Příloha P2	...	Výpočet celkové tepelné ztráty objektu
Příloha P3	...	Technické parametry tepelných čerpadel
Příloha P4	...	Stavební výkres vybraného objektu

Seznam příloh na CD:

Jan_Loibl_BP.pdf



Příloha P1 - Výpočet součinitele prostupu tepla

OBVODOVÉ ZDIVO		
materiálové složení stěny	tloušťka	součinitel tepelné vodivosti
	d	λ
	[m]	[W/m·K]
vnější omítka	0,015	0,99
pórobeton Ytong P2-400	0,365	0,098
vnitřní omítka	0,005	0,87
tepelný odpor		součinitel prostupu tepla
$R_T [m^2 \cdot K/W]$		$U_K [W/m^2 \cdot K]$
3,915		0,255
STROP		
střešní izolace Isover Orsik	0,18	0,038
sádkokarton	0,02	0,22
půdní dřevo	0,02	0,15
tepelný odpor		součinitel prostupu tepla
$R_T [m^2 \cdot K/W]$		$U_K [W/m^2 \cdot K]$
5,271		0,195
PODLAHA		
železobeton	0,11	1,58
polystyren	0,04	0,04
beton prostý	0,04	1,3
hydroizolace	0,006	0,2
dlažba	0,02	1,01
tepelný odpor		součinitel prostupu tepla
$R_T [m^2 \cdot K/W]$		$U_K [W/m^2 \cdot K]$
1,150		0,869



Ložnice 7							
Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO7	Venkovní stěna	20,53	0,255	0,15	0,405	1	8,31
OZ7	Okno	2,82	1,8	0,4	2,2	1	6,21
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							464,64
Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR7	Strop k půdě	18,88	0,195	0,02	0,215	0,9	3,65
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							116,90
Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz7	Podlaha přilehlá k zemině	18,88	0,38	1,45	0,46	1,00	4,79
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							153,13
Tepelná ztráta větráním							
číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$ [W]	
6	Ložnice	32	41,27	0,5	20,64	224,51	
Celková tepelná ztráta místnosti [W]							959,19



1479,28



Celková tepelná ztráta místnosti [W]	485,81
---	---------------

Hobby místnost 1+2							
Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO1+2	Venkovní stěna	37,80	0,255	0,15	0,405	1	15,31
OZ1+2	Okno	2,20	1,8	0,4	2,2	1	4,84
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							644,77
Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR1+2	Strop k půdě	34,78	0,195	0,02	0,215	0,9	6,73
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							215,36
Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz1+2	Podlaha přilehlá k zemině	34,78	0,38	1,45	0,46	1,00	8,82
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							282,09
Tepelná ztráta větráním							
číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$ [W]	
1+2	Hobby místnost	32	59,95	0,5	29,98	326,13	
Celková tepelná ztráta místnosti [W]							1468,34



Koupelna 9+10							
Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO9+10	Venkovní stěna	12,60	0,255	0,1	0,355	1	4,47
OZ9+10	Okno	1,10	1,8	0,5	2,3	1	2,53
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							252,11
Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR9+10	Strop k půdě	8,73	0,195	0,02	0,215	0,72	1,35
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							48,65
Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz9+10	Podlaha přilehlá k zemině	8,73	0,38	1,45	0,46	1,00	2,21
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							79,66
Tepelná ztráta větráním							
číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$ [W]	
9+10	Koupelna	36	19,14	1,5	28,71	351,41	
Celková tepelná ztráta místnosti [W]							731,83

Celková tepelná ztráta místnosti [W]	356,57
---	---------------



WC 11							
Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO11	Venkovní stěna	3,23	0,255	0,1	0,355	1	1,15
OZ11	Okno	0,73	1,8	0,5	2,3	1	1,68
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							90,42
Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR11	Strop k půdě	2,00	0,195	0,02	0,215	0,9	0,39
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							12,38
Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou							
Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz11	Podlaha přilehlá k zemině	2,00	0,38	1,45	0,46	1,00	0,51
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							16,22
Tepelná ztráta větráním							
číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$	
11	WC	32	3,56	1,5	5,34	58,10	
Celková tepelná ztráta místnosti [W]							177,13



Chodba 3+4

Tepelná ztráta prostupem tepla přímo do venkovního prostředí

Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
SO11	Venkovní stěna	2,67	0,255	0,1	0,355	1	0,95
OZ11	Okno	2,02	2	0,4	2,4	1	4,85
Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí [W]							185,51

Tepelná ztráta prostupem tepla nevytápěným prostorem

Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	ΔU_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
STR3+4	Strop k půdě	6,64	0,195	0,02	0,215	0,9	1,28
Celková tepelná ztráta přes nevytápěný prostor [W]							41,11

Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou

Stavební konstrukce							
Č.k.	Popis	A_k	U_{ekv}	f_{g1}	b_g	G_w	$f_{g1} \cdot b_g \cdot G_w$
PDLz3+4	Podlaha přilehlá k zemině	6,64	0,38	1,45	0,46	1,00	1,68
Celková tepelná ztráta zeminou [W]							53,86

Tepelná ztráta větráním

číslo	Místnost	$t_{int,i} - t_e$	V_i	n_{min}	$n_{min} \cdot V_i$	$Q_{v,i}$
3+4	Chodba	32	14,74	0,5	7,37	80,19
Celková tepelná ztráta místnosti [W]						360,67

**Příloha P3 - Technické parametry tepelných čerpadel**

Výkon, ACVM 270 a AMS 10-8

Vytápění	Venk. tepl. /výstupní tepl.	Min.	Max.
Tepelný výkon/příkon/COP EN 14511 ΔT 5K	7/35 °C (podlaha)	1,75/0,50/3,50	8,16/1,98/4,13
	2/35 °C (podlaha)	1,49/0,48/3,10	6,74/2,17/3,11
	-7/35 °C (podlaha)	1,04/0,45/2,31	5,53/2,06/2,69
	-15/35 °C (podlaha)	1,25/0,59/2,12	4,22/1,85/2,28
	7/45 °C	2,64/0,81/3,26	7,81/2,47/3,16
	2/45 °C	2,14/0,79/2,71	6,64/2,54/2,61
	-7/45 °C	1,46/0,75/1,95	5,17/2,35/2,20
	-15/45 °C	0,92/0,69/1,33	3,83/2,08/1,84
	7/55 °C	3,08/1,26/2,44	7,36/2,73/2,70
	-7/55 °C	1,88/1,14/1,65	4,64/2,66/1,74
Chlazení	Venk. tepl. /výstupní tepl.	Min.	Max.
Chladicí výkon/příkon/EER EN 14511 ΔT 5K	27/7 °C	2,06/0,38/5,42	7,52/2,37/3,17
	27/18 °C	2,71/0,34/7,97	11,20/3,20/3,50
	35/7 °C	2,10/0,55/3,82	7,10/2,65/2,68
	35/18 °C	2,67/0,71/3,76	10,7/3,19/3,35

Technické parametry tepelného čerpadla NIBE F1245-5 vč.cirkulačních čerpadel

Technické parametry NIBE F1245 / 6 při teplotě primárního média -5°C, 0°C a +5°C (země-voda)				
Primární teplota	Topná voda	Topný výkon	Elektrický příkon	Topný faktor
		(kW)	(kW)	COP
5°C	35°C	7,23	1,38	5,25
5°C	45°C	6,32	1,55	4,09
0°C	35°C	6,1	1,35	4,51
0°C	45°C	5,21	1,46	3,58
0°C	55°C	4,27	1,54	2,78
(- 5°C)	45°C	4,16	1,35	3,07